

This Page Is Inserted by IFW Operations
and is not a part of the Official Record

BEST AVAILABLE IMAGES

Defective images within this document are accurate representations of the original documents submitted by the applicant.

Defects in the images may include (but are not limited to):

- BLACK BORDERS
- TEXT CUT OFF AT TOP, BOTTOM OR SIDES
- FADED TEXT
- ILLEGIBLE TEXT
- SKEWED/SLANTED IMAGES
- COLORED PHOTOS
- BLACK OR VERY BLACK AND WHITE DARK PHOTOS
- GRAY SCALE DOCUMENTS

IMAGES ARE BEST AVAILABLE COPY.

**As rescanning documents *will not* correct images,
please do not report the images to the
Image Problem Mailbox.**

(19) 日本国特許庁 (J P)

(12) 公 開 特 許 公 報 (A)

(11) 特許出願公開番号

特開2002-316363

(P2002-316363A)

(43) 公開日 平成14年10月29日 (2002. 10. 29)

(51) Int.Cl.⁷

B 2 9 C 67/00

識別記号

F I

B 2 9 C 67/00

テーマコード(参考)

4 F 2 1 3

審査請求 未請求 請求項の数24 O L (全 28 頁)

(21) 出願番号 特願2001-274360(P2001-274360)

(22) 出願日 平成13年9月10日(2001. 9. 10)

(31) 優先権主張番号 特願2001-40756(P2001-40756)

(32) 優先日 平成13年2月16日(2001. 2. 16)

(33) 優先権主張国 日本 (J P)

(71) 出願人 000005201

富士写真フイルム株式会社

神奈川県南足柄市中沼210番地

(72) 発明者 永野 和彦

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(72) 発明者 岡崎 洋二

神奈川県足柄上郡開成町宮台798番地 富

士写真フイルム株式会社内

(74) 代理人 100079049

弁理士 中島 淳 (外3名)

Fターム(参考) 4F213 AA44 WA25 WA97 WL03 WL13

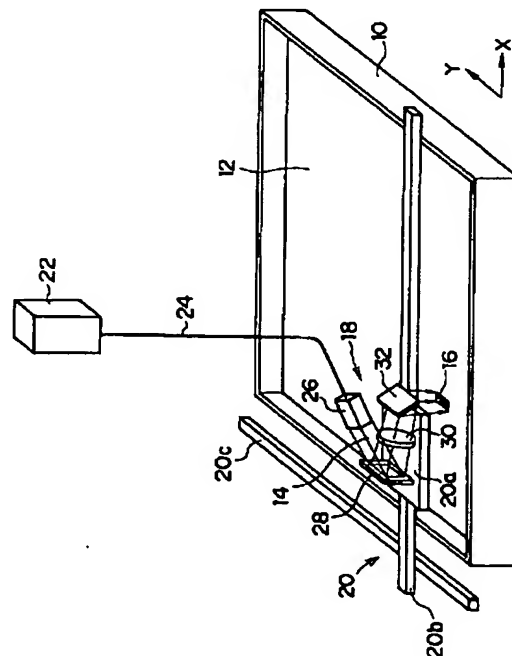
WL42 WL76 WL80 WL96

(54) 【発明の名称】 光造形装置及び露光ユニット

(57) 【要約】

【課題】高速且つ高精細な造形を可能とする光造形装置を提供する。

【解決手段】XY位置決め機構20により露光ユニット18の第1の位置が決定されると、第1の位置に応じた所定面積の領域16の画像データに応じて、DMD28のマイクロミラー40がオンオフ制御され、光源22から光ビームが出射された光ビーム14が光ファイバ24及びホモジナイザ光学系26を介してDMD28へ入射されて、画像データに応じて各画素毎に変調される。反射ミラー32の方向に反射された光ビーム14は、集光レンズ30により集光され、反射ミラー32により光硬化性樹脂12表面の方向に反射され、光硬化性樹脂12表面の所定面積の領域16内が光ビーム14で露光されて、露光された部分が硬化する。同様にして、露光ユニット18の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂12の表面全体を露光する。



【特許請求の範囲】

【請求項 1】光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、
光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する露光手段と、
該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、
を備えた光造形装置。

【請求項 2】光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、
光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調され且つピコ秒パルス幅でパルス駆動された光ビームで露光する露光手段と、
該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、
を備えた光造形装置。

【請求項 3】前記露光手段を、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子と、を含んで構成した請求項 1 または 2 に記載の光造形装置。

【請求項 4】前記空間変調素子を、デジタル・マイクロミラー・デバイスで構成した請求項 3 に記載の光造形装置。

【請求項 5】光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、
光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する走査機能を備えた露光手段と、
該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、
を備えた光造形装置。

【請求項 6】前記露光手段を、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第 1 の走査方向に配列した空間変調素子アレイと、を含んで構成した請求項 5 に記載の光造形装置。

【請求項 7】前記空間変調素子が回折格子光バルブまたはデジタル・マイクロミラー・デバイスである請求項 6 に記載の光造形装置。

【請求項 8】前記露光手段を、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第 1 の走査方向に配列した空間変調素子アレイと、該第 1 の走査方向と交差する第 2 の走査方向に走査する走査ミラーと、で構成した請求項 5 ～ 7 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 9】前記移動手段は、前記露光手段を前記第 1 の走査方向及び第 1 の走査方向と交差する第 2 の走査方向に移動させる請求項 8 に記載の光造形装置。

【請求項 10】前記露光手段を複数設け、該複数の露光手段の各々を光硬化性樹脂の表面に対し各々独立に相対移動可能にした請求項 1 ～ 9 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 11】光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置であって、
光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査して露光する露光ユニットを、アレイ状に複数配列した露光手段を備えた光造形装置。

【請求項 12】前記露光ユニットを、光源と、該光源から出射された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、で構成した請求項 11 に記載の光造形装置。

【請求項 13】前記光源、前記集光光学系、及び前記偏向素子を、パッケージ内に封止した請求項 12 に記載の光造形装置。

【請求項 14】前記偏向素子を、2 次元マイクロ・スキャナで構成した請求項 12 または 13 に記載の光造形装置。

【請求項 15】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザー、窒化ガリウム系半導体レーザーで固体レーザー結晶を励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザー励起固体レーザー、赤外領域の光を出射する半導体レーザーでファイバを励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザーまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザーでファイバを励起して得られたレーザービームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザーのいずれかのレーザー光源で構成した請求項 1 ～ 14 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 16】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザーをファイバに結合した第 1 のレーザー光源、複数の窒化ガリウム系半導体レーザーを合波光学系によりファイバに結合した第 2 のレーザー光源、該第 1 のレーザー光源のファイバおよび第 2 のレーザー光源のファイバの少なくとも一方を線状のレーザー光束が出射されるようにアレイ状に配列した線状レーザー光源、及び該第 1 のレーザー光源および第 2 のレーザー光源のファイバの少なくとも一方をスポット状のレーザー光束が出射されるようにバンドル状に配列した面状レーザー光源のいずれかのレーザー光源で構成した請求項 1 ～ 15 のいずれか 1 項に記載の積層造形装置。

【請求項 17】前記光源を、複数のレーザー光源、及び該複数のレーザー光源から出射されたレーザービームを合波する合波光学系を含んで構成した請求項 1 ～ 16 のいずれか 1 項に記載の光造形装置。

【請求項 18】光源と、該光源から出射された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する偏

向素子と、を備えた露光ユニット。

【請求項 19】光源と、該光源から出射され且つピコ秒パルス幅でパルス駆動された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、を備えた露光ユニット。

【請求項 20】前記光源、前記集光光学系、及び前記偏向素子を、パッケージ内に封止した請求項 18 または 19 に記載の露光ユニット。

【請求項 21】前記偏向素子を、2次元マイクロ・スキヤナで構成した請求項 18～20 のいずれか 1 項に記載の露光ユニット。

【請求項 22】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザ、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザのいずれかのレーザ光源で構成した請求項 18～21 のいずれか 1 項に記載の露光ユニット。

【請求項 23】前記光源を、窒化ガリウム系半導体レーザをファイバに結合した第 1 のレーザ光源、複数の窒化ガリウム系半導体レーザを合波光学系によりファイバに結合した第 2 のレーザ光源、該第 1 のレーザ光源のファイバおよび第 2 のレーザ光源のファイバの少なくとも一方を線状のレーザ光束が出射されるようにアレイ状に配列した線状レーザ光源、及び該第 1 のレーザ光源および第 2 のレーザ光源のファイバの少なくとも一方をスポット状のレーザ光束が出射されるようにバンドル状に配列した面状レーザ光源のいずれかのレーザ光源で構成した請求項 18～21 のいずれか 1 項に露光ユニット。

【請求項 24】前記光源を、複数のレーザ光源、及び該複数のレーザ光源から出射されたレーザビームを合波する合波光学系を含んで構成した請求項 18～23 のいずれか 1 項に記載の露光ユニット。

【発明の詳細な説明】

【0001】

【発明の属する技術分野】本発明は、光造形装置及び露光ユニットに係り、詳しくは、光硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形装置、及びこの光造形装置に好適に使用することができる露光ユニットに関する。

【0002】

【従来の技術及び発明が解決しようとする課題】近年、3次元 CAD (Computer Aided Design) システムの普及に伴い、3次元 CAD によりコンピュータ上の仮想空間に作成された 3 次元形状を、CAD データに基づき光

硬化性樹脂を光ビームで露光して 3 次元モデルを造形する光造形システムが利用されている。この光造形システムでは、コンピュータ上で CAD データを所定間隔でスライスして複数の断面データを作成し、各断面データに基づいて液状の光硬化性樹脂の表面をレーザ光で走査して層状に硬化させ、樹脂硬化層を順次積層して 3 次元モデルを造形する。光造形方法としては、上方開放型の槽内に液状の光硬化性樹脂を貯留しておき、光硬化性樹脂の液面近くに配置した造形テーブルを樹脂の自由液面から順次沈下させながら樹脂硬化層を積層する自由液面法が広く知られている。

【0003】従来、この光造形システムに使用される光造形装置には、「丸谷洋二：光造形システムの基礎・現状・問題点、型技術、第 7 巻第 10 号、pp 18-23、1992」に示されるように、レーザプロッタ方式により走査を行うものと可動ミラー方式により走査を行うものがあつた。

【0004】レーザプロッタ方式による光造形装置を図 32 に示す。この装置では、レーザ光源 250 から発振されたレーザ光は、シャッタ 252 を備えた光ファイバ 254 を通って XY プロッタ 256 に到達し、XY プロッタ 256 から容器 260 内の光硬化性樹脂 262 の液面 266 に照射される。また、X 位置決め機構 258a と Y 位置決め機構 258b とを備えた XY 位置決め機構 258 により、XY プロッタ 256 の X 方向、Y 方向の位置が制御される。従って、XY プロッタ 256 を X 方向、Y 方向に移動させながら、シャッタ 252 により XY プロッタ 256 から照射されるレーザ光を断面データに応じてオンオフ制御することで、液面 266 の所定部分の光硬化性樹脂 262 を硬化させることができる。

【0005】しかしながら、レーザプロッタ方式による光造形装置では、シャッタ速度やプロッタの移動速度には限界があり、造形に長時間を要する、という問題がある。

【0006】次に、従来のガルバノメータ・ミラーを用いた可動ミラー方式による光造形装置を図 33 に示す。この装置では、レーザ光 270 は、X 軸回転ミラー 272、Y 軸回転ミラー 274 に反射されて光硬化性樹脂 262 に照射される。X 軸回転ミラー 272 は Z 軸を回転軸として回転することで照射位置の X 方向の位置を、Y 軸回転ミラー 274 は X 軸を回転軸として回転することで照射位置の Y 方向の位置を制御する。この可動ミラー方式では、レーザプロッタ方式に比べ走査速度を上げることができる。

【0007】しかしながら、可動ミラー方式による光造形装置においても、微小なレーザスポットで走査するために、例えば 2～12 m/s の高速走査を行っても、10 センチメートル立方程度の 3 次元モデルの造形に 8～24 時間もの時間を要する等、造形に長時間を要している。また、レーザ光 270 は、Y 軸回転ミラー 274 に

所定範囲の角度で入射した場合にしか反射されないため照射領域が限定される。そこで、照射領域を広げるためにY軸回転ミラー274を光硬化性樹脂262から離れた高い位置に配置すると、レーザスポットの径が大きくなって位置決め精度が悪くなり、造形精度が低下する、という問題がある。また、Y軸回転ミラー274の回転角度を大きくした場合にも、照射範囲は拡大するが、同様に位置決め精度が悪くなり、ピン・クッション・エラーが増加する。更に、ガルバノメータ・ミラーを用いた光造形装置には、歪み補正や光軸調整などの光学系の調整が複雑である、光学系が複雑で装置全体が大型化する、といった問題もある。

【0008】また、いずれの方式による光造形装置においても、レーザ光源としては高出力の紫外線レーザ光源が使用され、従来はアルゴンレーザ等のガスレーザまたはTHG（第3高調波）による固体レーザが一般的であったが、ガスレーザはガスの充填等のメンテナンスが面倒であることに加え、高価であり光造形装置の価格を引き上げ、冷却用チラー等の付帯設備が必要で装置全体が大型化する。THG固体レーザにおいては、Qスイッチ

のバルス動作であり、繰り返しスピードが遅く、高速露光には不適切であった。また、THG光を用いるために波長変換効率が悪く高出力化できないことに加え、励起半導体レーザとして高出力のものを用いなければならず、非常にコストの高いものであった。

【0009】この問題に鑑み、特開平11-138645号公報には、単一のピクセルより大きなサイズのスポットで露光領域を照射することができる光源を複数備え、複数の光源によりピクセルを多重露光する光造形装置が提案されている。この装置では、複数の光源により

ピクセルを多重露光するので、個々の光源の出力は小さくてもよい。また、安価な発光ダイオード（LED）を光源として使用することができる。

【0010】しかしながら、特開平11-138645号公報に記載の光造形装置では、各光源のスポットサイズは単一のピクセルより大きい。また、高精度な造形には使用できず、また、複数の光源によってピクセルを多重露光するため動作に無駄が多く、造形に長時間を要する、という問題もある。また、光源の数が増えることで露光部が大型化する、という問題もある。更に、LEDの出力光量で多重露光しても、十分な分解能が得られない虞もある。

【0011】本発明は上記従来技術の問題点を鑑み成されたものであり、本発明の目的は、高速且つ高精度な造形を可能とする光造形装置を提供することにある。本発明の他の目的は、従来に比べて小型化されており、露光手段に多数配列することができる露光ユニットを提供することにある。本発明の更に他の目的は、安価な光造形装置及び露光ユニットを提供することにある。

【0012】

【課題を解決するための手段】上記目的を達成するために、本発明の第1の光造形装置は、光硬化性樹脂を光ビームで露光して3次元モデルを造形する光造形装置であって、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する露光手段と、該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、を備えたことを特徴とする。

【0013】第1の光造形装置では、露光手段が、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光するので、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を同時に硬化させることができ、高速造形が可能となる。そして、移動手段がこの露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させるので、露光手段により同時に露光される所定領域の面積を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【0014】この場合、露光手段は、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子と、を含んで構成することができる。この空間変調素子は、デジタル・マイクロミラー・デバイスで構成するのが好ましい。

【0015】また、本発明の第2の光造形装置は、光硬化性樹脂を光ビームで露光して3次元モデルを造形する光造形装置であって、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光する走査機能を備えた露光手段と、該露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させる移動手段と、を備えたことを特徴とする。

【0016】第2の光造形装置では、露光手段が、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで露光するので、光硬化性樹脂の表面の複数画素を含む所定領域を同時に硬化させることができ、高速造形が可能となる。そして、露光手段が走査機能を備えており、光硬化性樹脂の表面を走査すると共に、移動手段がこの露光手段を光硬化性樹脂の表面に対し相対移動させるので、露光手段により同時に露光される所定領域の面積を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【0017】この場合、露光手段は、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第1の走査方向（例えば、主走査方向）に配列した空間変調素子アレイと、を含んで構成することができる。この空間変調素子アレイにより、光硬化性樹脂の表面が第1の走査方向に走査露光される。空間変調素子は、例えば、デジタル・マイクロミラー・デバイス、または回折格子光バルブ（GLV: Grating）

ing Light Valve)で構成することができる。なお、GLVの詳細については米国特許第5311360号に記載されている。

【0018】更に、露光手段は、光源と、該光源から出射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する空間変調素子を第1の走査方向に配列した空間変調素子アレイと、該第1の走査方向と交差する第2の走査方向に走査する走査ミラーと、で構成することができる。この走査ミラー（可動ミラー、スキャナミラー）により、光硬化性樹脂の表面が第2の走査方向（例えば、副走査方向）に走査露光される。また、移動手段は、露光手段を、第1の走査方向及び第1の走査方向と交差する第2の走査方向に移動させる。

【0019】上記のいずれの光造形装置においても、露光手段を複数設け、複数の露光手段の各々を光硬化性樹脂の表面に対し各々独立に相対移動可能とすることにより、更に造形の高速化を図ることができる。

【0020】また、本発明の第3の光造形装置は、光硬化性樹脂を光ビームで露光して3次元モデルを造形する光造形装置であって、光硬化性樹脂の表面の複数の画素を含む所定領域を光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査して露光する露光ユニットを、アレイ状に複数配列した露光手段を備えたことを特徴とする。

【0021】第3の光造形装置では、露光手段にアレイ状に配列された複数の露光ユニットの各々が、光硬化性樹脂の表面の複数の画素を含む所定領域を、光源から出射され画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査して露光するので、高速且つ高精細な造形が可能となる。

【0022】この光造形装置においては、露光ユニットは、光源と、該光源から出射された光ビームを集光する集光光学系と、該集光光学系により集光された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子と、を含んで構成することができる。この露光ユニットは、画像データに応じて各画素毎に変調する偏向素子を用いることにより、従来の2枚組の可動ミラーを用いる場合に比べて小型化されている。このため露光手段に多数の露光ユニットを配列することが可能であり、更に高速且つ高精細な造形が可能となると共に、露光ユニット当りの露光領域が小さくなるので、ピン・クッション・エラーを略解消することができる。また、この露光ユニットは、光源、集光光学系、及び偏向素子がパッケージ内に封止されている形態とすることができる。偏向素子としては、例えば、2次元マイクロ・スキャナを用いることができる。

【0023】本発明の光造形装置は、光源として、窒化ガリウム系半導体レーザ、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起

固体レーザ、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ、及び窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザのいずれかを備えていることが好ましい。

【0024】また、窒化ガリウム系半導体レーザをファイバに結合した第1のレーザ光源、複数の窒化ガリウム系半導体レーザを合波光学系によりファイバに結合した第2のレーザ光源、該第1のレーザ光源のファイバおよび第2のレーザ光源のファイバの少なくとも一方を線状のレーザ光束が出射されるようにアレイ状に配列した線状レーザ光源、及び該第1のレーザ光源および第2のレーザ光源のファイバの少なくとも一方をスポット状のレーザ光束が出射されるようにバンドル状に配列した面状レーザ光源のいずれかのレーザ光源を用いてもよい。

【0025】これらのレーザ光源は、従来にない数10ワット級の高出力レーザ光源であって、連続駆動またはパルス駆動されて、紫外を含む所定波長領域（350nm～420nm、好ましくは405nm）のレーザ光を出射する。これらのレーザ光源を使用することにより、高価なガスレーザやTHG固体レーザを使用する必要がなくなり且つ従来にない高出力が実現できるので、従来にない10倍以上の高速且つ高精細で安価な光造形装置及び露光ユニットを提供することができる。

【0026】上記の光造形装置において、光源から出射されるパルス駆動された光ビームで光硬化性樹脂の表面を露光することにより、照射した光による熱の拡散が防止され、更に高速且つ高精細な露光が可能となる。したがって、パルス駆動されたレーザ光のパルス幅は短い方がよく、好ましくは、1psec～100nsec、より好ましくは、1psec～300psecが適している。以上に述べたレーザ光源は従来にない高出力化ができるだけでなく、ピコ秒オーダーの短パルス発振も可能であり、高速且つ高精細な露光が可能となる。紫外を含む所定波長域としては、350nm～420nmが好ましく、低コストな窒化ガリウム系半導体レーザを用いるという点では、最も高出力化が期待できる405nmがより好ましい。

【0027】具体的には、下記のレーザ光源を用いることができる。

【0028】（1）窒化ガリウム系半導体レーザ。例えば、ブロードエリア発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザ、10mm長バー型構造半導体レーザ、複数の発光点を有する窒化ガリウム系半導体レーザチップによる半導体レーザでもよい。また、複数の発光点を有する窒化ガリウム系半導体レーザチップを複数実装することにより構成される特願2001-273849号に開示されているアレイ型半導体レーザであれば、より高出

力を得ることができる。

【0029】(2)窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ。例えば、希土類元素イオンとして少なくともPr³⁺が添加された固体レーザ結晶、該固体レーザ結晶を励起するレーザビームを出射する窒化ガリウム系半導体レーザ、及び前記固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを紫外領域の光に波長変換する光波長変換素子を備えた半導体レーザ励起固体レーザである。

【0030】Pr³⁺が添加された固体レーザ結晶は、GaN系半導体レーザにより励起されて、700～800nmの波長帯で効率良く発振する。つまり、例えばP₀→F₃の遷移によって、Pr³⁺の発振ラインである波長720nmの赤外域の固体レーザビームを効率良く発振させるので、この固体レーザビームを光波長変換素子により第2高調波に波長変換すれば、波長360nmの高強度の紫外光を得ることができる。また、第3高調波を発生させる場合のように構成が複雑化することがなく、低コストの半導体レーザ励起固体レーザが実現される。また、連続動作で容易に高効率の波長変換を行なうことができ、高出力特性が得ることができる。

【0031】(3)窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザ。例えば、Er³⁺、Ho³⁺、Dy³⁺、Eu³⁺、Sn³⁺、Sm³⁺、及びNd³⁺のうちの少なくとも1つとPr³⁺とが共ドープされたコアを持つファイバ、該ファイバを励起するレーザビームを出射する窒化ガリウム系半導体レーザ、及び前記ファイバを励起して得られたレーザビームを紫外領域の光に波長変換する光波長変換素子を備えたファイバレーザである。

【0032】Er³⁺、Ho³⁺、Dy³⁺、Eu³⁺、Sn³⁺、Sm³⁺、及びNd³⁺は、波長380～430nmに吸収帯があり、GaN系半導体レーザによって励起され得る。そして、励起された電子をPr³⁺の励起準位(例えばP₀→P₁)にエネルギー移動し、下準位に落とすことにより、Pr³⁺の発振ラインである青、緑、赤色領域の発振が可能となる。波長380～430nmはGaN系半導体レーザが比較的発振しやすい波長帯であり、特に波長400～410nmは、現在提供されているGaN系半導体レーザの最大出力が得られる波長帯であるので、Er³⁺、Ho³⁺、Dy³⁺、Eu³⁺、Sn³⁺、Sm³⁺、及びNd³⁺をGaN系半導体レーザによって励起すれば、励起光の吸収量が大きくなり、高効率化および高出力化が達成される。また、光学部品が少なく、簡潔な構成となり、損失が低減され、温度安定領域も広がる。

【0033】なお、励起光源であるGaN系半導体レーザとしては、単一縦、横モード型のものを使用できるこ

とは勿論、その他ブロードエリア型、マルチアレイ型、フェーズドアレイ型、MOPA型、あるいはGaN系半導体レーザを合波し、ファイバへ結合したファイバ型の高出力タイプのものを1個または複数個使用することもできる。また、ファイバレーザを励起光源とすることもできる。このように高出力な励起光源を用いることにより、更なる高出力、例えばW(ワット)クラスの高出力を得ることも可能である。また、(2)、(3)で述べた発光スペクトルの広いPr³⁺を用いたレーザは、モードロックにより容易にpsecパルス駆動ができ、高繰り返し動作も可能になる。さらに、psec発振のため、高効率波長変換ができる。

【0034】(4)赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ。例えば、Nd³⁺ドープ、Yb³⁺ドープ、またはEr³⁺とYb³⁺とが共ドープされたコアを持つファイバ、該ファイバを励起する赤外領域のレーザビームを出射する半導体レーザ、及び前記ファイバを励起して得られたレーザビームを紫外領域の光に波長変換する光波長変換素子を備えたファイバレーザまたはファイバアンプである。光波長変換素子としては、THG(第3高調波発生)素子、FHG(第4高調波発生)素子を用いることができる。

【0035】ファイバレーザを用いることで、従来の固体レーザに対して、励起光と発振ビームとのモードマッチングを向上させることができるので、高効率化することが可能になる。また、ファイバレーザ方式の場合においては、モードロック機構を従来の固体レーザに対して安定且つ低コストに構成することが可能であり、上記ファイバレーザの発振スペクトルがブロードな希土類元素を用いることで、短パルス駆動(psec)及び高繰り返し動作(100MHz)が可能になる。その結果、波長変換によるTHG光、FHG光を高効率にて得ることが可能になる。

【0036】また、ファイバアンプの場合においても、種光源に高繰り返し及び短パルス化が可能なLD光を用いることによって、ファイバアンプにより高出力化することが可能になり、且つ波長変換によるTHG光、FHG光を高効率にて得ることが可能になる。以上のことから、従来の固体レーザに対して高出力且つ高繰り返し紫外レーザ光を得ることが可能となる。その結果、高速露光に適した低コストな光源となる。

【0037】(5)窒化ガリウム系半導体レーザをファイバへ合波したレーザ。例えば、特願2001-273870号及び特願2001-273871号で開示されているように、複数の窒化ガリウム系半導体レーザを合波光学系で合波結合することにより、ファイバから高出力を得ることができる。複数のビームを出射する半導体レーザチップによる半導体レーザを集光光学系によりフ

10

20

30

40

50

ファイバに合波したレーザでもよい。また、ブロードエリア発光領域を有する窒化ガリウム系半導体レーザビームをファイバに合波してもよい。これらのファイバをアレイ状に配置して線状光源とすること、またはバンドル状に配置して面状光源とすることにより、さらに高出力を得ることができる。

【0038】(6) また、光源は、複数のレーザ光源、及び該複数のレーザ光源から出射されたレーザビームを合波する合波光学系を含んで構成されていてもよく、レーザ光源としては、上記(1)～(5)のレーザ光源を用いることができる。合波光学系を用いて複数のレーザ光源から出射されたレーザビームを合波することにより、光源の高出力化を図ることができる。

【0039】特に、窒化ガリウム系半導体レーザは、半導体レーザであるため、低コストなシステムを構成することが可能である。また、窒化ガリウム系半導体レーザは、転移の移動度が非常に小さく、熱伝導係数が非常に大きいので、赤外波長領域の光源に比べ非常に高いC/O D (Catastrophic Optical Damage) 値を有している。さらに、半導体レーザであるため、短周期で高いピークパワーを有するパルスによる繰り返し動作が可能であり、これにより、高速かつ高精細な露光を行うことができる。したがって、窒化ガリウム系半導体レーザを光源に使用することで、安価かつ高速・高精細な露光装置を提供することができる。

【0040】

【発明の実施の形態】以下、図面を参照して、本発明の実施の形態について詳細に説明する。

(第1の実施の形態) 本発明の第1の実施の形態に係る光造形装置は、図1に示すように、上方に開口した容器10を備えており、容器10内には液状の光硬化性樹脂12が収容されている。容器10に収容された光硬化性樹脂12の表面上方には、樹脂表面の複数画素を含む所定面積の領域16を光ビーム14で露光する露光ユニット18が配置されている。露光ユニット18は、XY位置決め機構20により、樹脂表面に対して水平方向(XY方向)に移動可能とされている。

【0041】XY位置決め機構20は、露光ユニット18を固定する固定台20a、固定台20aをX方向に移動可能に支持する支持体20b、及び支持体20bを固定台20aと共にY方向に移動可能に支持する支持体20cから構成されている。そして、固定台20aが支持体20b上をX方向にスライドすることにより露光ユニット18がX方向に移動されて、露光ユニット18のX方向の位置が決められ、支持体20bが支持体20c上をY方向にスライドすることにより露光ユニット18がY方向に移動されて、露光ユニット18のY方向の位置が決められる。固定台20a及び支持体20bをスライドさせる機構としては、ラックアンドピニオン、ボールねじ等がある。

【0042】露光ユニット18は、図1及び図2に示すように、例えば、約0.5Wのレーザ光を出射する光源22から、例えば、コア径10μm～200μmの光ファイバに結合し、この光ファイバをバンドル状に多数本(例えば、100本の)束ねられた光ファイバ束24を介して入射された50W(=0.5W×100本)のレーザ光14を平行光化すると共に、その波形を整形して光軸に垂直な面内での強度分布を矩形状に変換する整形光学系としてのホモジナイザ光学系26、2次元状に配列されたマイクロミラーを備え、ホモジナイザ光学系26から入射された光ビームを例えば約100万画素の画像データに応じて各画素毎に変調するデジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)28、DMD28から入射された光ビームを集光する集光レンズ30、及び集光レンズ30を透過した光ビームを光硬化性樹脂12の表面の方向に反射する固定配置された反射ミラー32を備えている。

【0043】なお、XY位置決め機構20、光源22及びDMD28は、これらを制御するコントローラ(図示せず)に接続されている。

【0044】光源22として、例えば、特願2001-273870号に記載されているマルチモード窒化ガリウム(GaN)系半導体レーザをファイバに合波結合したレーザ光源を用いることができる。この光源22は、図3(A)に示すように、例えば8個のマルチモード窒化ガリウム(GaN)系半導体レーザLD1、LD2、LD3、LD4、LD5、LD6、LD7およびLD8と、合波光学系34とから構成されている。GaN系半導体レーザLD1～LD8の発振波長は、発振可能な390～410nmの範囲内で、高出力発振可能な波長が選択され、例えば、395nm、396nm、397nm、398nm、399nm、400nm、401nm、402nmと1nmずつ異なる波長とされている。なお、このときの各レーザの出力は全て共通の100mWである。

【0045】GaN系半導体レーザLD1～LD8の各々に対応して、各々から出射する発散光状態のレーザビームB1～B8を平行光化するコリメートレンズC1～C8が設けられている。

【0046】合波光学系34は、平行平板プリズム36と、その一方の表面36aに貼着された狭帯域バンドパスフィルタF3、F5およびF7と、平行平板プリズム36の他方の表面36bに貼着された狭帯域バンドパスフィルタF2、F4、F6およびF8とから構成されている。これらの狭帯域バンドパスフィルタF2～F8は各々、平行平板プリズム36の表面36aと粘着された粘着面から入射される光を例えば反射率98%で反射し、且つ粘着面と反対側から入射される所定波長域の光を例えば透過率90%で透過するように形成されている。図4には、これらの狭帯域バンドパスフィルタF2

～F 8の透過スペクトルを、後述する狭帯域バンドパスフィルタF 1の透過スペクトルと併せて示してある。

【0047】GaN系半導体レーザLD 1～LD 8の各々は、各々から出射したレーザビームB 1～B 8が狭帯域バンドパスフィルタF 2～F 8に対して5°の入射角で入射するように配設されており、各GaN系半導体レーザLD 1～LD 8から出射した波長395nm、396nm、397nm、398nm、399nm、400nm、401nm、402nmのレーザビームB 1～B 8は、平行平板ブリズム36に入射した後、狭帯域バンドパスフィルタF 2～F 8で反射されながら1本に合波され、波長多重された高出力（例えば、約0.5W）のレーザビームBが平行平板ブリズム36から出射し、レンズC 9によって集光され、コア径約10μm、NA=0.3のマルチモードファイバ37に結合される。このマルチモードファイバ37を図3（B）に示すように、入射端面がバンドル状になるように配列し、例えば、100本バンドル化することで50Wの面状ビームを得る。

【0048】DMD 28は、図5（C）に示すように、SRAMセル（メモリセル）38上に、微小ミラー（マイクロミラー）40が支柱により支持されて配置されたものであり、多数の（数10万個から数100万個）の微小ミラーであるピクセルを格子状に配列して構成されたミラーデバイスである。各ピクセルには、最上部に支柱に支えられたマイクロミラー40が設けられており、マイクロミラー40の表面にはアルミニウムが蒸着されている。なお、マイクロミラー40の反射率は90%以上である。また、マイクロミラー40の直下には、ヒンジ及びヨークを含む支柱を介して通常の半導体メモリの製造ラインで製造されるシリコンゲートのCMOSのSRAMセル38が配置されており、全体はモノリシック（一体型）に構成されている。

【0049】DMD 28のSRAMセル38にデジタル信号が書き込まれると、支柱に支えられたマイクロミラー40が、対角線を中心としてDMD 28が配置された基板側に対して±α度（例えば±10度）の範囲で傾けられる。図6（A）は、マイクロミラー40がオン状態である+α度に傾いた状態を示し、図6（B）は、マイクロミラー40がオフ状態である-α度に傾いた状態を示す。従って、画像信号に応じて、DMD 28の各ピクセルにおけるマイクロミラー40の傾きを、図5（C）に示すように制御することによって、DMD 28に入射された光はそれぞれのマイクロミラー40の傾き方向へ反射される。なお、図5（C）には、DMD 28の一部を拡大し、マイクロミラー40が+α度又は-α度に制御されている状態の一例を示す。それぞれのマイクロミラー40のオンオフ制御は、DMD 28に接続されたコントローラ（図示せず）によって行われる。なお、オフ状態のマイクロミラー40により光ビームが反射される

方向には、光吸収体（図示せず）が配置されている。

【0050】次に、以上説明した光造形装置の動作について図1を参照して説明する。コントローラ（図示せず）によりXY位置決め機構20が駆動されて、露光ユニット18がX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18のX方向及びY方向の第1の位置が決定される。露光ユニット18の第1の位置が決定されると、光源22から光ビームが射出され、露光ユニット18の第1の位置に応じた所定面積の領域16の画像データがDMD 28のコントローラ（図示せず）に送信される。DMD 28のマイクロミラー40は、受信した画像データに応じてオンオフ制御される。

【0051】光源22から射出された光ビーム14は、光ファイバ24を介してホモジナイザ光学系26に入射され、ホモジナイザ光学系26により平行光化されると共に、その波形が整形され光軸に垂直な面内での強度分布が矩形状に変換されて、DMD 28へ入射される。ホモジナイザ光学系26から入射された光ビーム14は、図5（C）、図6において、DMD 28のマイクロミラー40がオン状態の場合には反射ミラー32の方向に、マイクロミラー40がオフ状態の場合には光吸収体（図示せず）の方向にそれぞれ反射される。即ち、DMD 28へ入射された光ビーム14は、画像データに応じて各画素毎に変調される。反射ミラー32の方向に反射された光ビーム14は、集光レンズ30により集光され、集光された光ビーム14が反射ミラー32により光硬化性樹脂12の表面の方向に反射される。これにより、光硬化性樹脂12表面の所定面積の領域16内が光ビーム14で露光され、領域16内の光ビーム14で露光された部分が硬化する。

【0052】第1の位置での所定面積の領域16の露光が完了すると、XY位置決め機構20により、露光ユニット18がX方向、Y方向に移動されて、露光ユニット18のX方向及びY方向の第2の位置が決定され、上記と同様にして、第2の位置に対応する所定面積の領域16が露光される。このように、露光ユニット18の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂12の表面全体を露光することができる。

【0053】例えば、光硬化性樹脂12の表面上での光ビームのスポット径を50μmとすると、100万（1000×1000）画素のDMD 28を備えた露光ユニット18を用いた場合には、面積50mm×50mmの領域16を同時に露光することができる。この場合、光硬化性樹脂12表面の露光総面積が500mm×500mmであるとする、露光ユニット18の位置をずらしながら100回に分けて露光することにより、表面全体を露光することができる。

【0054】以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットはDMDを備えているので、所定面積の領域を同時に露光することができ、高速での造形

が可能となる。また、露光ユニットはXY位置決め機構により移動可能とされており、露光ユニットの位置をずらしながら複数回に分けて全体を露光することができるので、1つの露光ユニットで同時に露光する領域の面積を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【0055】また、複数のGa_{1-x}N系半導体レーザと合波光学系とから構成された光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、アルゴンレーザ等のガスレーザや固体レーザを使用している従来の光造形装置と比較した場合には、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【0056】また、露光ユニットの外に光源を配置し、露光ユニットと光源とを光ファイバで結合したことにより、露光ユニットを軽量化することができ、XY位置決め機構に掛かる負荷が軽減されて、露光ユニットを高速移動させることができる。

【0057】なお、上記では、光源を複数のGa_{1-x}N系半導体をファイバに合波結合したレーザ光源とする例について説明したが、光源を以下の(1)～(6)のいずれかで構成してもよい。

(1) 図7に示される、窒化ガリウム系半導体レーザ。好ましくは、図19及び図20に示される複数の窒化ガリウム系半導体レーザより構成されるアレイ型半導体レーザ。

(2) 図8に示される、窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザ。

(3) 図9に示される、窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザ。

(4) 図10に示される、赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザまたはファイバアンプ。

(5) 窒化ガリウム系半導体レーザをファイバに結合したレーザ光源、複数の窒化ガリウム系半導体レーザを合波光学系によりファイバに結合したレーザ光源、図18に示される以上のレーザ光源のファイバを線状のレーザ光束が出射されるようにアレイ状に配列した線状レーザ光源、及び以上のレーザ光源のファイバをスポット状のレーザ光束が出射されるようにバンドル状に配列した面状レーザ光源。

(6) 上記(1)～(5)のいずれかのレーザ光源と合波光学系とで構成されたレーザ光源。

【0058】図7に、上記(1)のブロードエリアの発光領域を有するGa_{1-x}N系半導体レーザの積層構造の一例を示す。この積層構造のGa_{1-x}N系半導体レーザでは、n

型Ga_{1-x}N(0001)基板100上には、n型Ga_{1-x}Al_xN/GaN超格子クラッド層102(0.05<z1<1)、n型またはi型Ga_{1-x}N光導波層104、In_{1-x}Ga_xN(Siドープ)/In_{1-x}Ga_xN多重量子井戸活性層106(0.01<z2<0.05、0.1<z3<0.3)、p型Ga_{1-x}Al_xNキャリアアブロッキング層108、n型またはi型Ga_{1-x}N光導波層110、p型Ga_{1-x}Al_xN/GaN超格子クラッド層112、及びp型Ga_{1-x}Nコンタクト層114が順次積層されている。p型Ga_{1-x}Nコンタクト層114上には、幅50μm程度のストライプ領域を除いて絶縁膜116が形成され、ストライプ領域にはp側電極118が形成されている。また、n型Ga_{1-x}N(0001)基板100の裏面には、n側電極120が形成されている。なお、この半導体レーザの発振波長帯は440nmであり、発光領域幅が50μmであるので、得られる出力は1W程度であり、電気-光変換効率は15%である。この半導体レーザをコア径500μmのファイバに10素子からのレーザ光を入力し、10W出力のファイバ励起モジュール122を得る。

【0059】図8に、上記(2)の窒化ガリウム系半導体レーザで固体レーザ結晶を励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射する半導体レーザ励起固体レーザの一例を示す。この半導体レーザ励起固体レーザは、励起光としてのレーザビーム121を発する励起モジュール122、入射端が励起モジュール122に光結合されたファイバF、ファイバFから出射された発散光である上記レーザビーム121を集光する集光レンズ124、Pr³⁺がドープされた固体レーザ媒質であるLiYF₄結晶(以下、Pr:YLF結晶と称する)126、このPr:YLF結晶126の光出射側に配置された共振器ミラー128、Pr:YLF結晶126と共振器ミラー128との間に配置された光波長変換素子130、及びエタロン132を備えている。

【0060】光波長変換素子130は、非線形光学材料であるMgOがドープされたLiNbO₃結晶に周期ドメイン反転構造が設けられて構成されている。周期ドメイン反転構造の周期は、例えば、基本波波長を720nm、第2高調波の波長を360nmとした場合、これらの波長に対して1次の周期となるように1.65μmとされている。また、波長選択素子としてのエタロン132は、固体レーザを単一縦モード発振させて低ノイズ化を実現する。

【0061】半導体レーザ122としては、例えば、InGa_{1-x}N活性層を有し、波長450nmで発振するブロードエリア型のものを用いることができる。また、Pr:YLF結晶126の光入射側の端面126aには、波長450nmの光は80%以上の透過率で良好に透過させる一方、Pr³⁺の1つの発振線である波長720nmに対して高反射率で、720nm以外のPr³⁺の発振

線400～650nmおよび800nm以上に対しては低反射率のコーティングが施されている。また、Pr:YLF結晶126の光出射側の端面126bには、波長720nmに対して低反射率で、その第2高調波波長360nmに対しては高反射率のコーティングが施されている。一方、共振器ミラー128のミラー面128aには、波長720nmの光に対して高反射率で、波長360nmの光を95%以上透過させ、上記490～650nmおよび800nm以上の光に対しては低反射率のコーティングが施されている。

【0062】この半導体レーザ励起固体レーザでは、半導体レーザ122から出射された波長450nmのレーザビーム121は、上記端面126aを透過してPr:YLF結晶126に入射する。Pr:YLF結晶126はこのレーザビーム121によってPr³⁺が励起されることにより、波長720nmの光を発する。このときの準位は³P₁→³F₄と考えられる。そして、Pr:YLF結晶126の端面126aと共振器ミラー128のミラー面128aとで構成される共振器によりレーザ発振が引き起こされて、波長720nmの固体レーザビーム123が得られる。このレーザビーム123は光波長変換素子130に入射して、波長が1/2すなわち360nmの第2高調波125に変換される。共振器ミラー128のミラー面128aには、前述の通りのコーティングが施されているので、共振器ミラー128からは、略、波長360nmの第2高調波125のみが出射する。

【0063】図10に、上記(4)の赤外領域の光を出射する半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザの一例を示す。このファイバレーザは、THG(第3高調波発生)ファイバレーザであり、波長1560nmのレーザビーム133を出射するパルス分布帰還形半導体レーザ(パルスDFBレーザ)134、発散光である上記レーザビーム133を平行光化するコリメートレンズ136、平行光となったレーザビーム133を集光する集光レンズ138、コリメートレンズ136と集光レンズ138との間に配置されたハーフミラー142、Er³⁺及びYb³⁺が共ドープされたコアを持つファイバ140、ファイバ140から出射されたレーザビーム133を集光する集光レンズ154、及び集光されたレーザビーム133を入射させて波長変換波を得る波長変換部156を備えている。

【0064】波長変換部156は、入射されたレーザビーム133を1/2の波長(780nm)のレーザビームに変換するSHG(第2高調波発生)素子158、及び入射されたレーザビーム133を1/4の波長(390nm)のレーザビームに変換するFHG(第4高調波発生)素子160から構成されている。SHG素子156及びTHG素子158は、非線形光学材料である、MgOがドープされたLiNbO₃に周期ドメイン反転構

造が設けられて構成されたバルク型波長変換結晶である。

【0065】ハーフミラー142の反射光入射側には(図中、ハーフミラー142の下方)には、波長940nmのレーザビーム135を出射する半導体レーザ144が配置されている。ハーフミラー142と半導体レーザ144との間にはコリメートレンズ146が配置されている。

【0066】図10に示すように、ファイバ140において、レーザビーム133は、同じ波長1560nmの蛍光からエネルギーを受けて増幅され、ファイバ140の出射端面140bから出射される。出射された波長1560nmのレーザビーム133は、集光レンズ154で集光され、波長変換部156に入射され、入射されたレーザビーム133は、波長変換部156において、第4高調波である波長390nmのレーザビーム137に変換されて出射される。なお、このFHGファイバレーザでは、5Wの出力を得ることができる。

【0067】なお、波長変換部を、入射されたレーザビームを1/2の波長のレーザビームに変換するSHG(第2高調波発生)素子、及び入射されたレーザビームを1/3の波長のレーザビームに変換するTHG(第3高調波発生)素子から構成することにより、THG(第3高調波発生)ファイバレーザとすることができる。

【0068】また、図9に、上記(3)の窒化ガリウム系半導体レーザを用いたファイバ入力励起モジュールでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して出射するファイバレーザの一例を示す。このファイバレーザは、SHG(第2高調波発生)ファイバレーザであり、波長450nmのレーザビーム173を出射するGaN系半導体レーザを用いたファイバ入力励起モジュール174、発散光である上記レーザビーム173を平行光化するコリメートレンズ176、平行光となったレーザビーム173を集光する集光レンズ178、Pr³⁺がドープされたコアを持つファイバ180、ファイバ180から出射された波長720nmのレーザビーム182を集光する集光レンズ194、及び集光されたレーザビーム182を入射させて1/2の波長(360nm)のレーザビーム177に変換するSHG(第2高調波発生)素子196を備えている。SHG素子196は、MgOがドープされたLiNbO₃に周期ドメイン反転構造が設けられて構成されたバルク型波長変換結晶である。ファイバ180の端面180aおよび180bには、以上述べた各波長の光に対してAR(無反射)となる特性のコートが施されている。

【0069】このファイバレーザでは、GaN系半導体レーザを用いたファイバ入力励起モジュール174から出射された波長450nmのレーザビーム173は、集光レンズ178により集光されて、ファイバ180に

入射する。入射したレーザービーム173により波長720nmの蛍光が発生し、ファイバ180の両端面180a、180b間で共振されて、波長720nmのレーザービーム182が出射端面180bから出射される。出射された波長720nmのレーザービーム182は、集光レンズ194で集光され、SHG素子196に入射される。入射されたレーザービーム182は、SHG素子196において、第2高調波である360nmのレーザービーム177に変換されて出射される。

【0070】光源として、紫外を含む所定波長領域の連続もしくはパルス駆動されたレーザー光を使用することができる。パルス駆動されたレーザー光を光源として使用する場合には、CODレベルの高い窒化ガリウム系半導体レーザーを駆動電流をパルス動作させパルス駆動してもよいし、固体レーザーもしくはファイバレーザーを繰り返し周波数の高い(例えば、100MHz)モードロック動作によりパルス駆動してもよい。パルス駆動されたレーザー光を光源として使用することにより、熱拡散が防止されるため、高速かつ高精細な造形が可能となる。したがって、パルス駆動されたレーザー光のパルス幅は短い方がよく、好ましくは、1psec~100nsec、より好ましくは、1psec~300psecが適している。特に、1psec~300psecのパルス幅は、CODの高いGaN-LDにおいては、容易に実現でき、更に本実施の形態で示したPr³⁺、Er³⁺、Yb³⁺等の発光スペクトル幅の広い希土類元素を含んだ固体レーザー及びファイバレーザーをモードロック動作させることで容易に実現できる。

【0071】(第2の実施の形態)本発明の第2の実施の形態に係る光造形装置は、図11に示すように、複数の露光ユニット及び複数の光源を備えた以外は、第1の実施の形態に係る光造形装置と同じ構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【0072】この光造形装置では、容器10に収容された光硬化性樹脂12の表面上方には、4つの露光ユニット18₁、18₂、18₃、及び18₄が配置されている。露光ユニット18₁~18₄の各々は、XY位置決め機構20により、樹脂表面に対して水平方向(XY方向)に相互に独立に移動させることができる。

【0073】XY位置決め機構20は、露光ユニット18₁~18₄の各々を固定する固定台20a₁~20a₄、固定台20a₁、20a₂をX方向に移動可能に支持する支持体20b₁、固定台20a₃、20a₄をX方向に移動可能に支持する支持体20b₂、及び支持体20b₁及び支持体20b₂を固定台20a₁~20a₄と共にY方向に移動可能に支持する支持体20cから構成されている。

【0074】露光ユニット18₁~18₄の各々は、対応する光源22₁~22₄から対応する光ファイバ24₁~24₄を介して入射された光ビーム14₁~14₄を各々

平行光化すると共に、その波形を整形して光軸に垂直な面内での強度分布を矩形状に変換する整形光学系としてのホモジナイザ光学系26₁~26₄、ホモジナイザ光学系26₁~26₄の各々から入射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調するデジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)28₁~28₄、DMD28₁~28₄の各々から入射された光ビームを集光する集光レンズ30₁~30₄、及び集光レンズ30₁~30₄の各々を透過した光ビームを光硬化性樹脂12の表面の方向に反射する固定配置された反射ミラー32₁~32₄を備えている。

【0075】なお、XY位置決め機構20、光源22₁~22₄及びDMD28₁~28₄は、これらを制御するコントローラ(図示せず)に接続されている。

【0076】次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。コントローラ(図示せず)によりXY位置決め機構20が駆動され、露光ユニット18₁~18₄の各々がX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18₁~18₄の各々のX方向及びY方向の第1の位置が決定される。露光ユニット18₁~18₄の各々の第1の位置が決定されると、第1の実施の形態と同様にして、光硬化性樹脂12表面の所定面積の領域16₁~16₄内の各々が対応する光ビーム14₁~14₄で露光され、領域16₁~16₄内の光ビームで露光された部分が硬化する。

【0077】第1の位置での所定面積の領域16₁~16₄の露光が完了すると、XY位置決め機構20により、露光ユニット18₁~18₄の各々がX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18₁~18₄の各々のX方向及びY方向の第2の位置が決定され、上記と同様にして、第2の位置に対応する所定面積の領域16₁~16₄が露光される。このように、露光ユニット18₁~18₄の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂12の表面全体を露光することができる。

【0078】以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、DMDを備えた露光ユニットを複数備えており、各々の露光ユニットについて所定面積の領域を同時に露光することができるので、第1の実施の形態と比べて更に高速での造形が可能となる。例えば、4つの露光ユニットを使用する場合には、1つの露光ユニットを使用する場合の4倍の速度で造形を行うことができる。

【0079】また、複数の露光ユニットにより露光を行う場合には、露光領域を分散させて硬化させ、局所的な硬化収縮に起因する歪みの発生を抑制することができる。1部の露光ユニットが故障しても他の露光ユニットを使用して光造形を続行することができ、使用安定性に優れている。

【0080】なお、上記の第2の実施の形態では、露光ユニットを4つ設ける例について説明したが、露光ユニットの数は、光硬化性樹脂を収容する容器のサイズ、要求される造形速度、造形精度等に応じて適宜決定され

る。また、第1の実施の形態と同様に、光源を前記(1)～(6)のいずれかで構成してもよい。

【0081】(第3の実施の形態)本発明の第3の実施の形態に係る光造形装置は、図12に示すように、上方に開口した容器10を備えており、容器10内には光硬化性樹脂12が収容されている。容器10に収容された光硬化性樹脂12の表面上方には、露光ヘッド42が固定手段(図示せず)により固定されて配置されている。露光ヘッド42には、樹脂表面の複数画素を含む所定面積の領域16を光ビーム14で走査して露光する多数(図12では、100個)の露光ユニット18Aがアレイ状(10列×10行)に配列されている。

【0082】露光ユニット18Aは、図13(A)及び(B)に示すように、光源としてのGa_{0.4}N系半導体レーザ44、Ga_{0.4}N系半導体レーザ44から出射された光ビームを集光する例えば屈折率分布型レンズで構成された集光レンズ46、及び集光レンズ46により集光された光ビームを2次元方向に反射すると共に光硬化性樹脂12の表面に結像させる2次元マイクロスキャナ48を備えている。

【0083】Ga_{0.4}N系半導体レーザ44及び集光レンズ46は、例えば銅またはシリコンからなるマウント50、52に各々保持された状態で、2次元マイクロスキャナ48と共に、共通の基板54に取り付けられている。各構成要素を固定配置した基板54は、温度調節手段を構成するペルチェ素子56上に固定されて、光出射窓58を有するパッケージ60内に気密封止されている。パッケージ60内にはサーミスタ(図示せず)が取り付けられており、サーミスタが出力する温度検出信号に基づいて温度制御回路(図示せず)によりペルチェ素子56の駆動が制御されて、パッケージ60内の要素が全て共通の所定温度に制御される。なお、図14(A)及び(B)に示すように、ペルチェ素子56はパッケージ60の外側に設けられていてもよい。

【0084】2次元マイクロスキャナ48は、基板54に固定された外枠62、外枠62に回転軸64の周りに回転可能に保持された内枠66、及び内枠66に回転軸68の周りに回転可能に保持された反射ミラー70から構成されている。この反射ミラー70から反射された光ビームが、樹脂表面の領域16をX方向及びY方向に走査するように、露光ユニット18Aが露光ヘッド42に配置されている。

【0085】なお、各々の露光ユニット18AのGa_{0.4}N系半導体レーザ44及び2次元マイクロスキャナ48は、これらを独立に制御するコントローラ(図示せず)に接続されている。

【0086】次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。コントローラ(図示せず)により各々の露光ユニット18AのGa_{0.4}N系半導体レーザ44が独立に駆動されて、Ga_{0.4}N系半導体レーザ44から光ビーム

が出射され、露光ユニット18Aの各々の配置位置に応じた所定面積の領域16の画像データが2次元マイクロスキャナ48のコントローラ(図示せず)に送信される。2次元マイクロスキャナ48では、画像データに応じて、内枠66に保持された反射ミラー70が回転軸68の周りに回転して、X方向に光ビーム14が走査されると共に、外枠62に保持された内枠66が反射ミラー70と共に回転軸64の周りに回転して、X方向と直交するY方向に光ビーム14が走査されて、各々の露光ユニット18Aに対応する所定面積の領域16が露光され、結果として、光硬化性樹脂12の表面全体が露光される。

【0087】例えば、光硬化性樹脂12の表面上での光ビームのスポット径を50μmとすると、100万(1000×1000)画素の2次元マイクロスキャナ48を備えた露光ユニット18Aを用いた場合には、面積50mm×50mmの領域16を同時に露光することができる。この場合、光硬化性樹脂12の表面の露光総面積が500mm×500mmであるとする、100個の露光ユニット18Aを用いて同時に露光することにより、表面全体を短時間で露光することができる。即ち、表面の全体を100個の露光ユニット18Aを用いて同時に露光する場合、1つの露光ユニット当りの露光領域は、表面全体を1個の露光ユニット18Aを用いて露光する場合の100分の1となり、露光時間も1/100に短縮される。

【0088】以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットは、画像データに応じて各画素毎に変調された光ビームで走査する2次元マイクロスキャナを用いることにより、従来の2枚組の可動ミラーを用いる場合に比べて小型化されている。このため、露光ヘッドに多数の露光ユニットを配列することが可能であり、多数の露光ユニットで所定面積の領域を並列に走査露光することができ、高速且つ高精細での造形が可能となる。また、多数の露光ユニットで全体を露光するので、1つの露光ユニットで走査露光する領域の面積を制限して、ピン・クッション・エラーを、例えば100個の露光ユニットを用いた場合は約1/10に低減することができる。

【0089】また、Ga_{0.4}N系半導体レーザで構成された光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、アルゴンレーザ等のガスレーザや固体レーザを使用している従来の光造形装置と比較すると、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【0090】なお、上記の第3の実施の形態では、露光ユニットを100個設ける例について説明したが、露光ユニットの数は、光硬化性樹脂を収容する容器のサイズ、要求される造形速度、造形精度等に応じて適宜決定

される。露光ユニットの数は、25～100個の範囲が好ましい。

【0091】また、上記第3の実施の形態では、光源をGaN系半導体レーザで構成する例について説明したが、第1の実施の形態と同様に、光源を前記(1)～(6)のいずれかで構成してもよい。

【0092】図15(A)及び(B)に、前記(2)の半導体レーザ励起固体レーザを用いた場合の露光ユニットの構成例を示す。第3の実施の形態の露光ユニットと同じ構成部分に付いては同じ符号を付して説明を省略する。この露光ユニットでは、集光レンズ46及び2次元マイクロキャナ48の間に、Pr³⁺がドープされた固体レーザ媒質であるLiYF₄結晶(以下、Pr:YLF結晶と称する)47が配置されており、例えば銅からなるマウント49に保持された状態で、共通の基板54に取り付けられている。また、Pr:YLF結晶47及び2次元マイクロキャナ48の間には、波長変換素子72、エタロン74、及び共振器ミラー76がマウント(図示せず)に保持された状態でこの順に配列されている。また、ベルチェ素子56はパッケージ60の外側に設けられている。なお、光波長変換素子72、半導体レーザ44、及び共振器ミラー76の構成は、図8に示す半導体レーザ励起固体レーザと同様である。

【0093】この半導体レーザ励起固体レーザでは、半導体レーザ44から入射されたレーザビームによりPr:YLF結晶47のPr³⁺が励起され、Pr:YLF結晶47から所定波長のレーザビームが射出される。射出されたレーザビームはPr:YLF結晶47の端面と共振器ミラー76のミラー面とで構成される共振器により共振されると共に、光波長変換素子72により波長変換されて、光ビーム14が射出される。

【0094】図16(A)及び(B)に、図9に示す、窒化ガリウム系半導体レーザでファイバを励起して得られたレーザビームを光波長変換素子で波長変換して射出するファイバレーザを用いた場合の露光ユニットの構成例を示す。第3の実施の形態の露光ユニットと同じ構成部分に付いては同じ符号を付して説明を省略する。この露光ユニットは、ファイバレーザと、ファイバレーザから射出された光ビーム177を2次元方向に反射すると共に光硬化性樹脂12の表面に集光レンズ194を通過した光ビームを結像させる2次元マイクロキャナ48と、を備えている。

【0095】ファイバレーザは、図9に示すように、波長450nmのレーザビーム173を射出するGa_{0.49}In_{0.51}N系半導体レーザ174、発散光である上記レーザビーム173を平行光化するコリメートレンズ176、平行光となったレーザビーム173を集光する集光レンズ178、Pr³⁺がドープされたコアを持つファイバ180、ファイバ180から射出された波長720nmのレーザビーム182を集光する集光レンズ194、及び集光さ

れたレーザビーム182を入射させて1/2の波長(360nm)のレーザビーム177に変換するSHG(第2高調波発生)素子196を備えている。

【0096】パッケージ60の内側には、集光レンズ194及びSHG素子196が配置されており、集光レンズ194及びSHG素子196は、例えば銅からなるマウント57、59に各々保持された状態で、2次元マイクロキャナ48と共に、共通の基板54に取り付けられている。各構成要素を固定配置した基板54は、光射出窓58を有するパッケージ60内に気密封止されている。ファイバ180の射出側の端部は、パッケージ60の側壁を貫通して内部に導入されて、集光レンズ53と光結合されている。一方、図16においては図示は省略するが、図9に示すその他の構成要素は、パッケージ60の外側に設けられている。

【0097】(第4の実施の形態)本発明の第4の実施の形態に係る光造形装置は、図17に示すように、露光ユニット18に代えて、樹脂表面の複数画素を含む線分16Bを光ビーム14で同時に露光する露光ユニット18Bを配置すると共に、光源22に特願2001-273870号及び特願2001-273871号において開示されているファイバアレイを用いた以外は、第1の実施の形態に係る光造形装置と同じ構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【0098】露光ユニット18Bは、図17に示すように、約50Wの光源22からアレイ状に配列された光ファイバ24を介して入射された光ビーム14を照射するレンズ400、401、レンズ400から入射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調するライン状に配列された光変調アレイ素子402、光変調アレイ素子402から入射された光ビームを集光する集光レンズ403、404、及び集光レンズ404を透過した光ビームを光硬化性樹脂12の表面の方向に反射する固定配置された反射ミラー406を備えている。

【0099】特願2001-273870号及び特願2001-273871号において開示されている光源22の詳細を図18に示す。光源22は、多数の半導体レーザチップから射出されるビームを1本のファイバに合波する合波モジュール520とその合波モジュール520の各々に光結合され、かつ線状のレーザ光束が射出されるようにアレイ状に配列した光ファイバ24とにより構成される。各々の合波モジュール520は、図19及び図20に示されるように、(例えば、銅からなる)ヒートシンクブロック510上に配列固定された複数個(例えば、7個)の横マルチモード窒化ガリウム系半導体レーザ530と、半導体レーザ各々に対向して設けられたコリメータレンズ540と、集光レンズ550とから構成され、一本のマルチモード光ファイバ24に光結合されている。

【0100】ヒートシンクブロック510、半導体レー

ザ530、コリメータレンズ540、および集光レンズ550は、上方が開いた箱上のパッケージ580内に収容され、パッケージ580の開口がパッケージ蓋581によって閉じられることにより、パッケージ580およびパッケージ蓋581が構成する閉空間内に密閉保持される。

【0101】パッケージ580の底面にはベース板590が固定され、このベース板590の上面に前記ヒートシンクブロック510が取り付けられ、そしてこのヒートシンクブロック510にコリメータレンズ540を保持するコリメータレンズホルダ541が固定されている。さらに、ベース板590の上面には、集光レンズ550を保持する集光レンズホルダ551と、マルチモード光ファイバ24の入射端部を保持するファイバホルダ552が固定されている。また窒化ガリウム系半導体レーザ530に駆動電流を供給する配線類555は、パッケージ580の横壁面に形成された図示しない気密封止材料で封止される配線類555を通してパッケージ外に引き出されている。

【0102】コリメータレンズ540は、窒化ガリウム系半導体レーザ530の発光点の並び方向の開口径が該方向に直角な方向(図20(B)の上下方向)の開口径よりも小さく(すなわち、細長い形状で)形成されて、上記発光点の並び方向に密接配置されている。窒化ガリウム系半導体レーザ530としては、例えば、発光幅が2 μ mで、活性層と平行な方向、直角な方向の拡がり角がそれぞれ10°、30°の状態で各々レーザビームを発するものが用いられる。これらの窒化ガリウム系半導体レーザ530は、活性層と平行な方向に発光点が1列に並ぶように配設されている。

【0103】したがって、各発光点から発せられたレーザビームは、上述のように細長い形状とされた各コリメータレンズ540に対して、拡がり角最大の方向が開口径大の方向と一致し、拡がり角最小の方向が開口径小の方向と一致する状態で入射することになる。つまり、細長い形状とされた各コリメータレンズ540は、入射するレーザビームの楕円径の断面形状に対応して、非有効部分を極力少なくして使用されることになる。

【0104】例えば、本実施の形態では、コリメータレンズ540の水平方向および垂直方向の開口径1.1mm、4.6mm、焦点距離3mm、NA0.6、コリメータレンズ540に入射するレーザビームの水平方向および垂直方向のビーム径0.9mm、2.6mmが使用できる。また、コリメータレンズ540はピッチ1.25mmで配置される。

【0105】集光レンズ550は、非球面円形レンズの光軸を含む領域を細長く切り取って、コリメータレンズ540の並び方向すなわち水平方向に長く、それと直角な方向に短い形状とされている。集光レンズ550は、例えば、焦点距離12.5mm、NA0.3であるもの

が使用できる。この集光レンズ550も、例えば、樹脂あるいは光学ガラスをモールド成形することによって形成される。

【0106】他方、マルチモード光ファイバ24は、例えば、三菱電線製のグレーデッドインデックス型を基本としたコア中心部がグレーデッドインデックス型で外周部がステップインデックス型であるコア径25 μ m、NA0.3、端面コート透過率99.5%以上のファイバが使用できる。すなわちコア径 \times NAの値は7.5 μ mとなる。

【0107】レーザビームのマルチモード光ファイバ24への結合効率が0.9、窒化ガリウム系半導体レーザ530の出力100mW、半導体レーザ530の個数7の場合、出力630mW(=100mW \times 0.9 \times 7)の合波レーザビームが得られることになる。

【0108】窒化ガリウム系半導体レーザ530は、発振波長は405 \pm 10nmであり、最大出力は100mWである。これらの窒化ガリウム系半導体レーザ530から発散光状態で出射したレーザビームは、各々対向するコリメータレンズ540によって平行光化される。平行光とされたレーザビームは、集光レンズ550によって集光され、マルチモード光ファイバ24のコアの入射端面上で収束する。

【0109】コリメータレンズ540および集光レンズ550によって集光光学系が構成され、それとマルチモード光ファイバ24とによって合波光学系が構成されている。すなわち、集光レンズ20によって上述のように集光されたレーザビームがこのマルチモード光ファイバ24のコアに入射してそこを伝搬し、1本のレーザビームに合波されてマルチモード光ファイバ24から出射する。なおマルチモード光ファイバ24としては、例えば、ステップインデックス型のものや微小コアで高いNAのものをを使用する場合は、グレーデッドインデックス型のもの及びその複合型のファイバが適用可能である。

【0110】なお、各々の半導体レーザ530に対応する個別のコリメータレンズ540の代替として、半導体レーザ530の個数に対応する個数のレンズ要素を有するコリメータレンズアレイが使用されてもよい。個別のコリメータレンズを使用する場合もそれらを互いに密接配置して、窒化ガリウム系半導体レーザ530の配置ピッチを小さくし、空間利用効率を高めることができるが、コリメータレンズアレイを用いることにより、その効果をより一層高めることが可能である。また、そのようにして空間利用効率が高められると、合波本数を増やすことができ、更に窒化ガリウム系半導体レーザ530、集光光学系およびマルチモード光ファイバ24の組立位置精度に比較的余裕を持たせることができるという効果も得られる。

【0111】コリメータレンズアレイの各レンズ要素、もしくは個別のコリメータレンズ540の焦点距離およ

び開口数を f_1 、 NA_1 、集光レンズ550の焦点距離を f_2 、マルチモード光ファイバ24の開口数を NA_2 、空間利用効率を η とする。なお、この空間利用効率 η は、レーザビームが使用する空間中でレーザビームの光路が占める空間の割合で規定されるものであり、レーザビームの光路が互いに密接する状態が $\eta=1$ である。

$$a = \frac{f_2}{f_1} = \frac{NA_1}{\left(\frac{NA_2}{N} \times \eta\right)} = \frac{NA_1}{NA_2} \times \frac{N}{\eta}$$

【0114】式(1)から明らかな通り、空間利用効率 η がより大きいほど倍率 a は低下する。そして倍率 a が小さいほど、窒化ガリウム系半導体レーザ、集光光学系およびマルチモード光ファイバ24の相対位置関係がずれた際に、レーザビームがマルチモード光ファイバ24のコア端面上で動く距離が小さくなる。そこで、窒化ガリウム系半導体レーザ、集光光学系およびマルチモード光ファイバ24の組立位置精度を比較的緩くしておいても、レーザビームをマルチモード光ファイバ24のコアに正常に入射させることが可能になる。また、 η を1に近づけると a を低下することができ、合波本数 N をその分増加させることができるので、合波本数 N を増加させても位置ずれ許容度が大きいまま高出力化できる。

【0115】長尺状に構成されている光変調アレイ素子402に光変調アレイ素子402の長さ方向に延びた線状のレーザ光を出射するように、多数の半導体レーザチップ520各々に対して1本ずつ設けられたファイバ24は光変調アレイ素子402の長さ方向に沿って配列されてアレイ状に構成されている。

【0116】上述されたように、窒化ガリウム系半導体レーザ530から出射されたレーザ光は、各々対応するコリメータレンズ540でコリメートされた後、光ファイバ24に入射される。各半導体レーザチップ520に7個の半導体レーザ530が備えられている場合、7本のコリメートされたレーザ光が、非球面ガラスモールドレンズ550により、ファイバ24へ光結合される。このコア径 $25\mu\text{m}$ 、 $NA=0.3$ 、出力 0.5W のファイバを100本設ければ、線状に配置されたファイバからは、 $50\text{W}(=0.5\text{W} \times 100\text{本})$ の線状の超高出力ビームが出射される。線状ビームは照射レンズ系により照射され、長尺状の光変調アレイ素子402に入射する。

【0117】上記記載されたファイバを並べた $50\text{W}(=0.5\text{W} \times 100\text{本})$ の線状の高出力ビームの代替として、図21(A)に示す半導体レーザチップ560を図21(B)に示すように所定方向に沿って配列した、特願2001-273849号で開示されているアレイ型半導体レーザが使用されてもよい。光源22は、複数の半導体レーザチップ560により構成される。各

*【0112】上記の条件下では、レンズ径の倍率 a 、すなわち、窒化ガリウム系半導体レーザの各発光点におけるビームスポット径に対するマルチモードファイバ24のコア端面上におけるビームスポット径の比は式(1)で与えられる。なお N は合波本数である。

【0113】
【数1】

(1)

々の半導体レーザチップ560は、発光点570を複数個有する。発光点570の出力が 0.1W 、発光点数が5であれば、半導体レーザチップ560各々の出力は $0.5\text{W}(=0.1\text{W} \times 5\text{個})$ であり、光源22が34個の半導体レーザチップ560により構成されていれば、 $17\text{W}(=0.5\text{W} \times 34\text{個})$ の高出力アレイビームを出射することができる。この 17W のアレイビームを3素子並べることで、ファイバを並べたビームと同様の $50\text{W}(17\text{W} \times 3\text{素子})$ 級の線状の高出力ビームが得られる。

【0118】露光ユニット18Bは、図17に示すように、上記記載した光源22から線状に配列された複数のファイバ24を介して入射された線状光ビーム14を、レンズ400、401で光変調素子アレイ402上にライン状に照射し、光変調素子アレイ402によって画像データに応じて各画素毎に変調されたビームをレンズ403、404によって光硬化性樹脂12の表面に反射ミラー406を通してY軸方向にライン状に結像する。

【0119】次に、図22及び図23を参照して、光変調アレイ素子402として用いるGLV素子の構成及び動作原理を説明する。GLV素子201は、例えば米国特許第5,311,360号に開示されているように、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)タイプの空間変調素子(SLM; Spatial Light Modulator)であり、図22に示すように、グレーティングを一方に複数配列して構成されている。

【0120】図22に示すように、GLV素子201のシリコン等からなる基板203上には、可動格子となるリボン状のマイクロブリッジ209が多数個(例えば、6480個)設けられている。複数のマイクロブリッジ209が平行に配列されることで複数のスリット211が形成されている。マイクロブリッジ209は、基板203から所定間隔離間されている。

【0121】マイクロブリッジ209は、図23に示すように、基板203に対向する下面側がSiNx等からなる可撓性梁209aで構成され、表面側がアルミニウム(又は、金、銀、銅等)の単層金属膜からなる反射電極膜209bで構成されている。なお、反射電極膜209bを金、銀、銅等により形成することで、使用する光

の波長に応じて反射率をより向上させることができる。上記基板203、マイクロブリッジ209、及び図示しないコントローラは可動格子移動手段に相当する。

【0122】このGLV素子201は、マイクロブリッジ209と基板203との間に印加される電圧のオン/オフで駆動制御される。マイクロブリッジ209と基板203との間に印加する電圧をオンにすると、静電誘導された電荷によってマイクロブリッジ209と基板203との間に静電吸引力が発生し、マイクロブリッジ209が基板203側に撓む。そして、印加電圧をオフにすると、撓みが解消し、マイクロブリッジ209は弾性復帰により基板203から離間する。通常、1画素は複数（例えば、6個）のマイクロブリッジ209で構成され、電圧を印加するマイクロブリッジ209を交互に配置することで、電圧の印加により回折格子を生成し、光の変調を行なうものである。

【0123】マイクロブリッジ209に電圧を印加しない場合には、マイクロブリッジ209の反射面の高さが総て揃い、反射光には光路差が生じず正反射される。一方、1つおきのマイクロブリッジ209に電圧を印加した場合には、前述した原理によりマイクロブリッジ209の中央部が撓み、交互に段差のある反射面となる。この反射面にレーザ光を入射すると、撓みのないマイクロブリッジ209で反射された光には光路差が生じ、光の回折現象が発生する。1次回折光の強度 I_{1st} は光路差に依存し、下記の式で表すことができる。この場合、光路差として $\lambda/2$ となる場合に最も回折光の強度が高くなる。

【0124】

【数2】

$$I_{1st} = I_{max} \sin \left(\frac{2\pi d}{\lambda} \right)$$

【0125】次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。コントローラ（図示せず）によりXY位置決め機構20が駆動されて、露光ユニット18BがX方向及びY方向に移動されて、露光ユニット18BのX方向及びY方向の初期位置が決定される。露光ユニット18Bの初期位置が決定されると、光源22から光ビームが射出され、露光ユニット18Bの初期位置に応じた複数画素を含む線分16Bの画像データが光変調アレイ素子402のコントローラ（図示せず）に送信される。光変調アレイ素子402の各GLV素子201は、上記の通り、受信した画像データに応じてオンオフ制御される。

【0126】光源22から射出された光ビーム14は、光変調アレイ素子に対して平行に線状に配置された光ファイバ24、及びレンズ400、401を介して、光変調アレイ素子402上にライン状に照射され、光変調アレイ素子402によって画像データに応じて各画素毎に

変調されたビームがレンズ403、404によって光硬化性樹脂12の表面に反射ミラー406を通してY軸方向にライン状に結像される。これにより、光硬化性樹脂表面の線分16Bが線状の光ビーム14で同時に露光され、露光された部分が硬化する。

【0127】初期位置での線分16Bの露光が完了すると、XY位置決め機構20により、露光ユニット18がX方向に1ステップ移動されて、次の線分が露光される。この通りX方向への移動と露光とが繰り返され、光硬化性樹脂12の所定面積の領域が露光される。X方向に沿って所定面積の領域の露光が完了すると、XY位置決め機構20により露光ユニット18がY方向に1ステップ移動され、X方向への移動と露光とが繰り返されて、光硬化性樹脂12の所定面積の領域が露光される。

【0128】例えば、光硬化性樹脂12の表面上での光ビームのスポット径（分解能）を $50\mu\text{m}$ とすると、1000画素の光変調アレイ素子402を備えた露光ユニット18Bを用いた場合には、長さ50mmの線分16Bを同時に露光することができる。この場合、光硬化性樹脂12表面の露光総面積が $500\text{mm} \times 500\text{mm}$ であるとする、露光ユニット18Bの位置を移動させながら露光することにより、分解能を低下させることなく表面全体を露光することができる。

【0129】以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットはGLV素子からなる光変調アレイを備えているので、所定長さの線分を同時に露光することができ、高速での造形が可能となる。また、露光ユニットはXY位置決め機構により移動可能とされており、露光ユニットの位置をずらしながら複数回に分けて全体を露光することができるので、1つの露光ユニットで同時に露光する領域を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【0130】また、複数のGaIn系半導体レーザと合波光学系とから構成された光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、アルゴンレーザ等のガスレーザや固体レーザを使用している従来の光造形装置と比較した場合には、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【0131】また、露光ユニットの外に光源を配置し、露光ユニットと光源とを光ファイバで結合したことにより、露光ユニットを軽量化することができ、XY位置決め機構に掛かる負荷が軽減されて、露光ユニットを高速移動させることができる。

【0132】なお、光源は、第1の実施の形態と同様に、前記（1）～（6）のいずれかの光源で構成することができる。

【0133】以上に説明した第4の実施の形態では、光変調アレイ素子にGLVを用い、集光レンズを透過した光ビームを光硬化性樹脂の表面方向に反射するミラーに

固定ミラーを用いているが、本発明はこれに限定されるものではなく、光変調アレイ素子として図5(A)または(B)に示されるように、マイクロミラー240を1列またな複数列アレイ状に配列したDMD素子を使用してもよい。

【0134】なお、光変調アレイ素子の構成は厳密な一次元（すなわち、一方の次元の素子の数が1個）の線状に限定されず、一方の次元の素子の数が他方の次元の素子の数より十分に小さい線状の構成であればよい。光変調アレイ素子を面状あるいは線状に構成することにより、光硬化性樹脂の複数画素に対応する領域を一度に露光することができるようになり、処理を高速化することができる。しかしながら、光変調アレイ素子を面状に構成すると、一度に処理される領域間の境界が線を構成する。これに対し、光変調アレイ素子が線状に構成されていれば、一度に処理される領域の境界は点となる。このような境界に対しては、各処理毎の整合を行うためにアラインメント処理が行われなければならない、境界が線となる場合にくらべ、点となる場合の方がアラインメント処理の対象となる領域が減少するために処理が容易となる。したがって、光変調アレイ素子を面状ではなく線状に構成することにより、露光処理を高速化することができ、かつ、アラインメント処理を容易に行うことができる。

【0135】第4の実施の形態では、光源として連続駆動された窒化ガリウム系半導体レーザを使用したか、パルス駆動された窒化ガリウム系半導体レーザを使用してもよい。CODレベルが非常に高い窒化ガリウム系半導体レーザをパルス駆動することによって、より高速・高精細な積層造形を得ることができる。パルス幅は、短い方がよく、好ましくは、1psec~100nsec、より好ましくは、1psec~300psecとすることが好ましい。

【0136】また、第4の実施の形態では、図17に示すように、ファイバ24をアレイ状に配設しているが、本発明はこれに限定されず、ファイバ24をバンドル状に配設して面状のレーザ光を発生するようにしてもよい。この場合、光変調アレイ素子402は面状に構成されているものが使用されることが好ましい。

【0137】また、図24に示すように、複数の露光ユニット及び複数の光源を備える構成とすることもできる。なお、露光ユニット18₁~18₄に代えて露光ユニット18B₁~18B₄を配置したこと、及び図19、図20に示す光源を使用したこと以外は、第2の実施の形態と同様の構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。この光造形装置では、光変調素子アレイを備えた露光ユニットを複数（図では4つ）備えており、各々の露光ユニットについて所定領域を同時に露光することができるので、更に高速での造形が可能となる。例えば、4つの露光ユニットを使用する場合に

は、1つの露光ユニットを使用する場合の4倍の速度で造形を行うことができる。また、複数の露光ユニットにより露光を行う場合には、露光領域を分散させて硬化させ、局所的な硬化収縮に起因する歪みの発生を抑制することができる外、1部の露光ユニットが故障しても他の露光ユニットを使用して光造形を続行することができ、使用安定性に優れている。

【0138】（第5の実施の形態）本発明の第5の実施の形態に係る光造形装置は、図25に示すように、露光ユニット18Bに代えて、所定長さの線分を光ビーム14で同時に露光すると共に可動ミラーにより線分と直交する方向（図では、X方向）に走査して、樹脂表面の複数画素を含む所定面積の領域16Cを光ビーム14で露光する露光ユニット18Cを配置した以外は、第4の実施の形態に係る光造形装置と同じ構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。

【0139】露光ユニット18Cは、図25に示すように、上記約50Wの光源22からアレイ状に配列された光ファイバ24を介して入射されたライン状の光ビーム14を照射するレンズ400、401、レンズ400、401から入射された光ビームを画像データに応じて各画素毎に変調するライン状に配列された光変調アレイ素子402、光変調アレイ素子402から入射された光ビームを光硬化性樹脂12の表面上に集光する集光レンズ403、404、及び集光レンズ403、404を透過した光ビームを光硬化性樹脂12の表面の方向に反射すると共に矢印A方向に回転可能に配置された可動反射ミラー408Cを備えている。なお、可動反射ミラー408Cには取り付けられた回転軸410は、軸受け（図示せず）に回転可能に支持されている。

【0140】次に、以上説明した光造形装置の動作について説明する。第4の実施の形態と同様にして、第1の位置での露光ユニット18Cによる所定長さの線分の露光が完了すると、XY位置決め機構20により、露光ユニット18Cの可動反射ミラー408CがX方向に1ステップ回転されて、次の線分が露光される。この通りX方向へのミラーの回転と露光とが繰り返され、光硬化性樹脂12の所定面積の領域16Cが露光される。

【0141】第1の位置での所定面積の領域16Cの露光が完了すると、XY位置決め機構20により、露光ユニット18CがX方向、Y方向に移動されて、露光ユニット18CのX方向及びY方向の第2の位置が決定され、上記と同様にして、第2の位置に対応する所定面積の領域16Cが露光される。このように、露光ユニット18の移動と露光とを繰り返すことにより、光硬化性樹脂12の表面全体を露光することができる。

【0142】以上の通り、本実施の形態に係る光造形装置では、露光ユニットはGLV素子からなる光変調素子アレイを備えているので、所定長さの線分を同時に露光することができる。また、所定長さの線分を同時に露光

すると共に、可動反射ミラーにより線分と直交する方向に走査露光するので、第4の実施の形態と比較して、より高速での造形が可能となる。また、露光ユニットはXY位置決め機構により移動可能とされており、露光ユニットの位置をずらしながら複数回に分けて全体を露光することができるので、1つの露光ユニットで同時に露光する領域を制限して、空間分解能を向上させることができ、高精細な造形が可能となる。

【0143】また、複数のGa_N系半導体レーザと合波光学系とから構成された光源は、高出力が得られると同時に低コストであり、光造形装置全体の製造コストも低減することができる。特に、アルゴンレーザ等のガスレーザを使用している従来の光造形装置と比較した場合には、安価で、メンテナンスが容易となり、装置全体が小型化する、という利点がある。

【0144】また、露光ユニットの外に光源を配置し、露光ユニットと光源とを光ファイバで結合したことにより、露光ユニットを軽量化することができ、XY位置決め機構に掛かる負荷が軽減されて、露光ユニットを高速移動させることができる。

【0145】なお、光源は、第1の実施の形態と同様に、前記(1)～(6)のいずれかの光源で構成することができる。

【0146】また、図26に示すように、複数の露光ユニット及び複数の光源を備える構成とすることもできる。なお、露光ユニット18₁～18₄に代えて露光ユニット18C₁～18C₄を配置した以外は、第2の実施の形態と同様の構成であるため、同一部分には同じ符号を付して説明を省略する。この光造形装置では、光変調素子アレイを備えた露光ユニットを複数(図では4つ)備えており、各々の露光ユニットについて所定面積の領域を同時に露光することができるので、更に高速での造形が可能となる。例えば、4つの露光ユニットを使用する場合には、1つの露光ユニットを使用する場合の4倍の速度で造形を行うことができる。また、複数の露光ユニットにより露光を行う場合には、露光領域を分散させて硬化させ、局所的な硬化収縮に起因する歪みの発生を抑制することができる外、1部の露光ユニットが故障しても他の露光ユニットを使用して光造形を続行することができ、使用安定性に優れている。

【0147】上記の第1、2、4、及び第5の実施の形態では、XY位置決め機構により露光ユニットをX方向、Y方向に移動させる例について説明したが、光硬化性樹脂を収納した容器を露光ユニットに対して移動させてもよい。

【0148】また、上記の第1～第5の実施の形態において、露光ユニットから照射される光ビームのスポット径及び出力光量を適宜変更することができる。例えば、低出力光量で露光することにより高精細な造形を行うこともでき、高出力光量で露光することにより高速造

形を行うこともできる。

【0149】上記の第4及び第5の実施の形態では、MEMS(Micro Electro Mechanical Systems)タイプの空間変調素子(SLM; Spatial Light Modulator)の1種である反射回折格子型のGLV(Grating Light Valve)素子アレイ化した光変調アレイ素子を用いて光ビームを変調する例について説明したが、他の変調手段により光ビームを変調することもできる。なお、MEMSとは、IC製造プロセスを基盤としたマイクロマシニング技術によるマイクロサイズのセンサ、アクチュエータ、そして制御回路を集積化した微細システムの総称であり、MEMSタイプの空間変調素子とは、静電気力を利用した電気機械動作により駆動される空間変調素子を意味している。

【0150】例えば、レーザ光源が連続駆動され且つ光出力が小さい用途の場合には、電気光学効果により透過光を変調する光学素子(PLZT素子)や液晶光シャッタ(FLC)等、MEMSタイプ以外の空間変調素子を用いてもよい。また、レーザ光源が高出力である場合またはパルス駆動される場合には、デジタル・マイクロミラー・デバイス(DMD)、全反射型の空間変調素子、及び干渉型の空間変調素子等、他のMEMSタイプの空間変調素子を用いてもよい。

【0151】干渉型の空間変調素子としては、ファブリペロー干渉を利用した光変調素子(干渉型光シャッタ)が挙げられる。図27及び図28において、干渉型光シャッタは、入射光に対し所定角度を持って配置される一方の電極303と、一方の電極303に少なくとも空隙を挟んで対向する他方の電極304と、一方の電極303及び他方の電極間304に介装されて透明な可撓薄膜307とを具備し、一方の電極303及び他方の電極304間に電圧を印加することで発生したクーロン力によって可撓薄膜307を撓ませ該可撓薄膜307を透過する光を変調して出射するものである。

【0152】即ち、一方の電極303は透明基板301に組み込まれて構成され、該一方の電極303の上側には誘電体多層膜ミラー305が設けられている。また透明基板301上には左右に支柱302が設けられており、該支柱302の上端面には可撓薄膜307が設けられている。可撓薄膜307の誘電体多層膜ミラー305に対向する下面にはもう1つの誘電体多層膜ミラー306が設けられている。従って、上下2つの誘電体多層膜ミラー305、306間には空隙309が形成されている。さらに可撓薄膜307の上面には一方の電極303と対向するように他方の電極304が設けられている。

【0153】このように構成される干渉型光シャッタでは、図29(A)の状態に示すように、一方の電極303と他方の電極304との間の電源電圧V_{qs}の供給をOFFとしたとき、上下2つの誘電体多層膜ミラー305、306間の空隙309の間隔はt_{off}となる。ま

た、図29(B)の状態に示すように、一方の電極303と他方の電極304と間の電源電圧 V_{qs} の供給をONとしたとき、上下2つの誘電体多層膜ミラー305、306間の空隙309の間隔は t_{on} となる。即ち、各電極303、304間に電圧 V_{qs} を印加すると、発生したクーロン力によって可撓薄膜307が変形して空隙309の間隔が狭くなる。

【0154】ここで、 t_{off} は可撓薄膜307の成膜時に調整可能であり、また t_{on} の制御は、印加される電圧 V_{qs} と可撓薄膜307が変形したときに発生する復元力のバランスで可能となる。尚、より安定な制御を行うには、変位が一定となるように電極303と可撓薄膜307との間にスペーサを形成してもよい。このスペーサを*

1

$$It = \frac{1}{1+4R\sin^2\left[\frac{2\pi n t \cos \theta_i}{\lambda}\right]} \cdot \frac{1}{(1-R)^2}$$

【0157】ここで、 t_{on} 、 t_{off} を下記のように設定する($m=1$)。 $t_{on}=1/2 \times \lambda$ [nm]、 $t_{off}=3/4 \times \lambda$ [nm]、 $\lambda=405$ nmである。また、誘電体多層膜ミラー305、306の光強度反射率 $R=0.9$ とし、入射角 $\theta_i=0$ [deg]とし、空隙309を空気又は希ガスとして屈折率 $n=1$ とする。このときの干渉型光シャッタにおける光強度透過率の波長に対する特性は、電圧 V_{qs} を印加しないとき(t_{off} のとき)は光を全く透過せず、電圧 V_{qs} を印加したとき(t_{on} のとき)には半導体レーザ光の波長405 [nm]を中心とした光を透過するようになる。

【0158】干渉型光シャッタでは、一方の電極303及び他方の電極304との間に電圧 V_{qs} を印加することで発生したクーロン力によって可撓薄膜307を撓ませ、多層膜干渉効果が発生することにより可撓薄膜307を透過する光を光変調することができる。尚、干渉の条件を満たせば、空隙309の間隔 t 、屈折率 n 、誘電体多層膜ミラー305、306の光強度反射率 R 等は何れの組み合わせであってもよい。また、電圧 V_{qs} の値により間隔 t を連続的に変化させると、透過スペクトルの中心波長を任意に変化させることが可能である。これにより透過光量を連続的に制御することも可能である。即ち、印加電圧による階調制御が可能となる。

【0159】全反射型の空間変調素子は、図30及び図31に示すように、メカニカル光タップ駆動構成の例では、ノーマリオン光タップ構成である。ここで、導光プレートメサ326は導光プレート312上のスペーサ348の高さより低い高さを有する。スペーサ348の近くにはライン電極356が設けられている。対応するカラム電極358はメカニカルタップ膜328の上面に配置されている。ノーマリオン構成において、メカニカ

*絶縁体とした場合には、その比誘電率(1以上)により印加電圧を低減する効果があり、また導電性とした場合には、さらにこの効果は大きくなる。また、電極303、304とスペーサとを同一材料で形成してもよい。

【0155】また、図28に示すように、光シャッタの面法線と入射光のなす角が θ_i のとき、干渉型光シャッタの光強度透過率 I_t は次式で与えられる。ここにおいて、 R は誘電体多層膜ミラー305、306の光強度反射率、 n は空隙309の屈折率(空気の場合に1)、 t は誘電体多層膜ミラー305、306間の空隙309の間隔、 λ は光の波長である。

【0156】

【数3】

ルタップ膜が備える張力性(tensile nature)により、メサの上方のスペーサ348の高さが増加していることでメカニカルタップ膜は、導光プレートメサ326の上面336から離間された状態に維持される。タップ膜とメサのトップ面336との間の例えば約0.7 μ mのギャップGは、導光プレートからの光がタップ膜及び上方の透過基板338に透過することを許さない。この状態(オン状態)では導光プレート312の図中左側から入射した光は右側に射出するため、その射出光を露光に用いることができる。一方、ライン電極356とカラム電極358との間に適切な電位差が印加されると、両電極には引き合う電荷構成(図示せず)が発生する。その結果、可撓性のあるタップ膜328が導光プレート及びライン電極356に引き寄せられる。この正の引力はタップ膜を下方へ撓ませ、これによってタップ膜が動いて導光プレートメサ326のトップ面336に接触する。図25に示すように、この接触はメカニカル光タップをオフにし、これにより、導光プレートメサから出た光が、接触しているメカニカルタップ膜を通り、そこから透過基板338を通過して図中上方へ抜けて行く。この状態(オフ状態)では導光プレート312の図中左側から入射した光は右側から射出しないため露光されない。引き合うような電極電位を除くことにより、張力性メカニカルタップ膜は上方に向けて通常の休止位置へスナップバックし、ギャップGがタップ膜を導光プレートメサのトップ面から離間させることでオン状態に戻る。

【0160】

【発明の効果】本発明の光造形装置は、高速且つ高精細な造形が可能である、という効果を奏する。また、本発明の露光ユニットは、従来に比べて小型化されており、露光ユニットに多数配列することができる、という効果

を奏する。更に、光源を所定の高出力レーザ光源とした場合には、安価な光造形装置及び露光ユニットが提供される、という効果を奏する。

【図面の簡単な説明】

【図 1】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 2】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの構成を示す部分拡大図である。

【図 3】(A) は本発明の第 1 の実施の形態に係る積層造形装置の紫外光源の構成を示す平面図であり、(B) はバンドル状に配置したファイバの端面を示す平面図である。

【図 4】図 3 に示す光源の狭域帯バンドパスフィルタの透過特性を示すグラフである。

【図 5】(A) ～ (C) は DMD の構成を示す部分拡大図である。

【図 6】DMD の動作を説明するための説明図である。

【図 7】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の光源として使用可能なブロードエリアの発光領域を有する GaN 系半導体レーザの積層構造の一例を示す概略断面図である。

【図 8】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の光源として使用可能な半導体レーザ励起固体レーザの構成を示す概略断面図である。

【図 9】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の光源として使用可能な SHG (第 2 高調波発生) ファイバレーザの構成を示す概略断面図である。

【図 10】本発明の第 1 の実施の形態に係る光造形装置の光源として使用可能な FHG (第 4 高調波発生) ファイバレーザの構成を示す概略断面図である。

【図 11】本発明の第 2 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 12】本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 13】(A) は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの構成を示す平面図であり、(B) は (A) の光軸に沿った断面図である。

【図 14】(A) は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの変形例を示す平面図であり、(B) は (A) の光軸に沿った断面図である。

【図 15】(A) は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの変形例を示す平面図であり、(B) は (A) の光軸に沿った断面図である。

【図 16】(A) は本発明の第 3 の実施の形態に係る光造形装置の露光ユニットの変形例を示す平面図であり、(B) は (A) の光軸に沿った断面図である。

【図 17】本発明の第 4 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 18】本発明の第 4 の実施の形態で使用する光源を示す斜視図である。

【図 19】光源における半導体レーザチップの斜視図である。

【図 20】(A) は光源における半導体レーザチップの平面図であり、(B) は (A) の光軸に沿った断面図である。

【図 21】本発明の第 4 の実施の形態に係る光造形装置の変形例を示す斜視図である。

【図 22】光変調アレイ素子として使用されるグレーティングライトバルブ素子 (GLV 素子) の概略構成を示す斜視図である。

【図 23】(A) 及び (B) は GLV 素子の動作原理の説明図である。

【図 24】本発明の第 4 の実施の形態に係る光造形装置の変形例を示す斜視図である。

【図 25】本発明の第 5 の実施の形態に係る光造形装置の概略構成を示す斜視図である。

【図 26】本発明の第 5 の実施の形態に係る光造形装置の変形例を示す斜視図である。

【図 27】干渉型の空間変調素子の例を示す平面図である。

【図 28】図 27 の A-A 断面図である。

【図 29】図 27 の干渉型の空間変調素子の動作状態を示す説明図である。

【図 30】全反射型の空間変調素子の例を示す概略断面図である。

【図 31】図 30 の全反射型の空間変調素子の動作状態を示す説明図である。

【図 32】従来のレーザ走査方式の光造形装置の構成を示す斜視図である。

【図 33】従来の可動ミラー方式の光造形装置の構成を示す斜視図である。

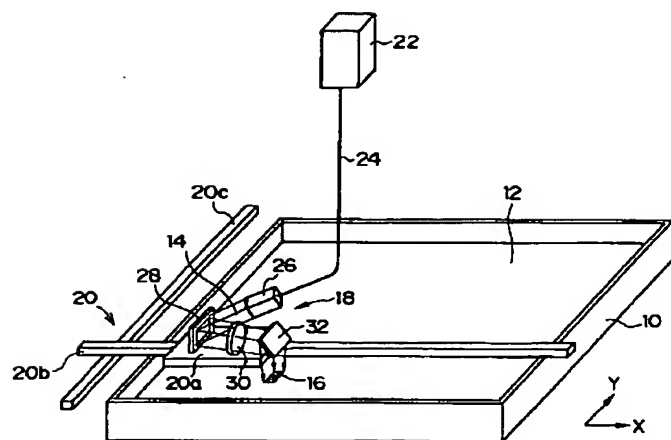
【符号の説明】

- 10 容器
- 12 光硬化性樹脂
- 14 光ビーム
- 16 領域
- 18、18A 露光ユニット
- 20 XY位置決め機構
- 22 光源
- 24 光ファイバ
- 26 ホモジナイザ光学系
- 28 デジタル・マイクロミラー・デバイス (DMD)
- 30 集光レンズ
- 32 反射ミラー
- 42 露光ヘッド
- 44 GaN系半導体レーザ
- 46 集光レンズ
- 48 2次元マイクロスキャナ
- 56 ヘルチェ素子
- 58 光出射窓

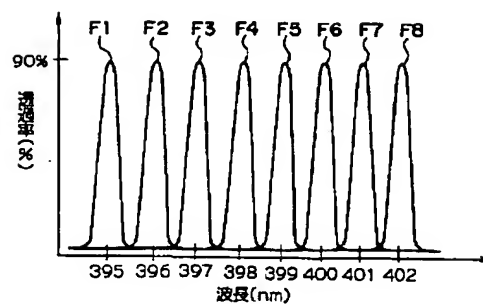
60 パッケージ

39

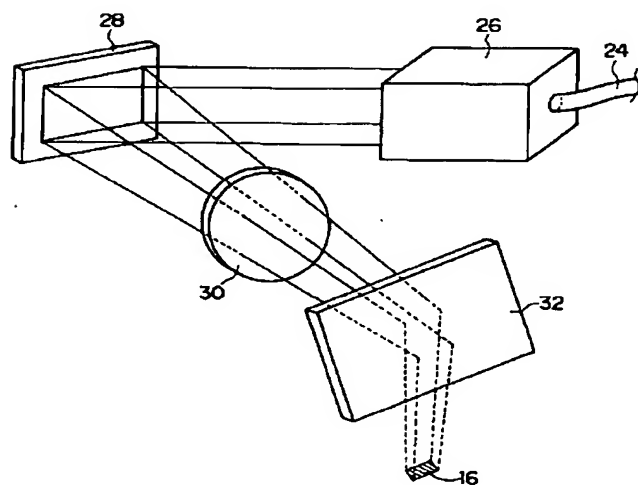
【図1】



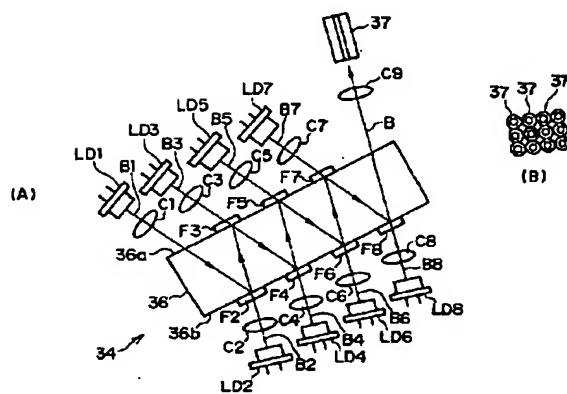
【図4】



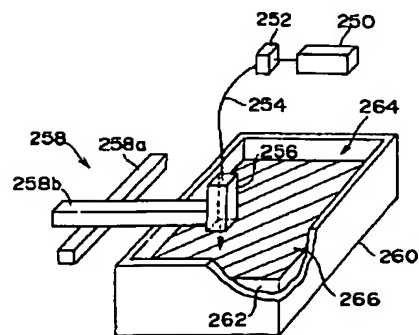
【図2】



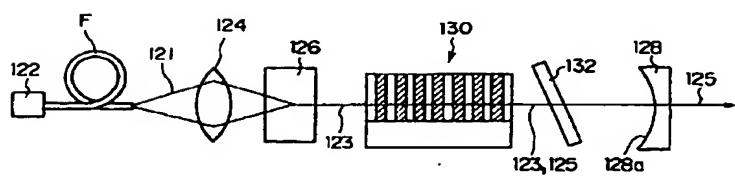
【図3】



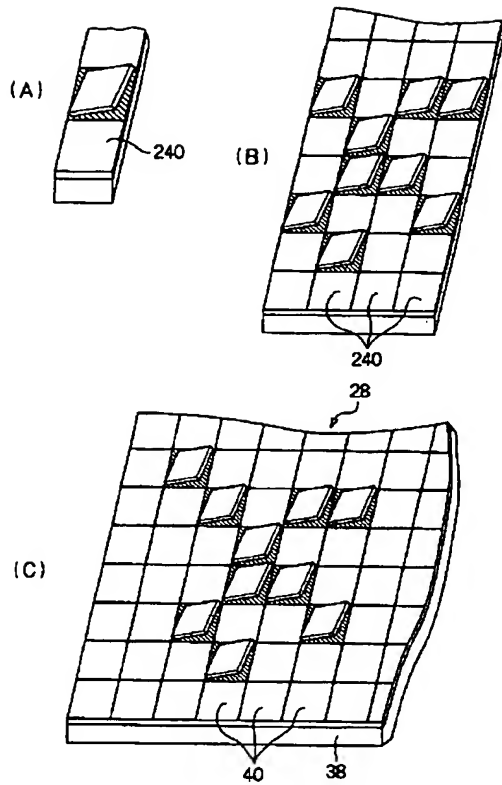
【図3 2】



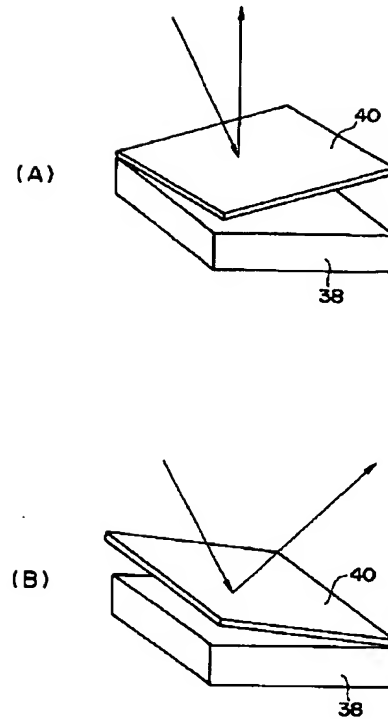
【図8】



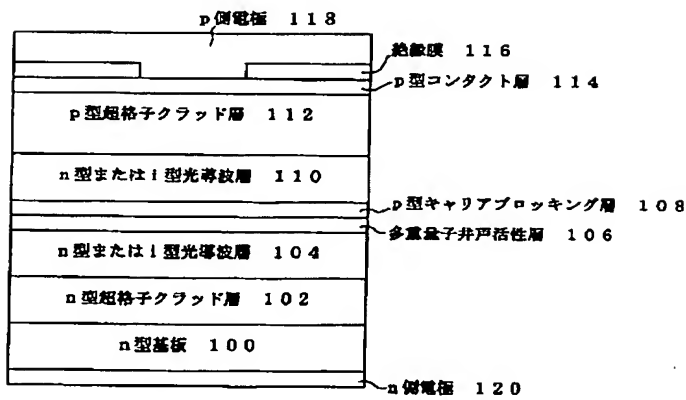
【図5】



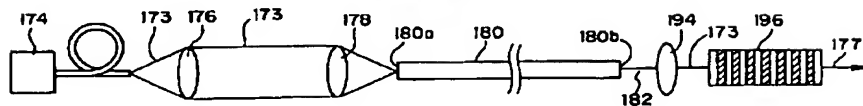
【図6】



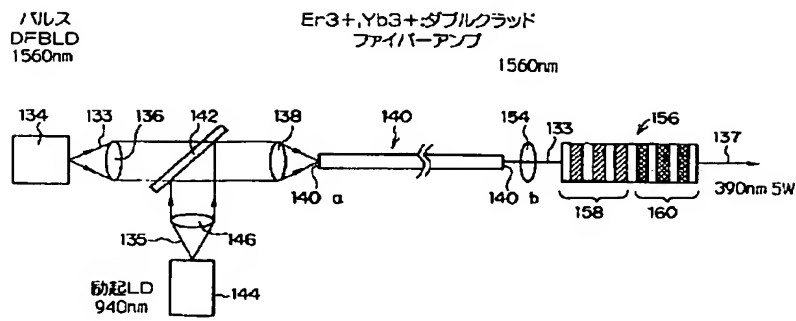
【図7】



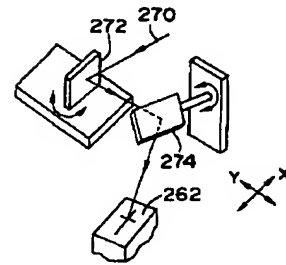
【図9】



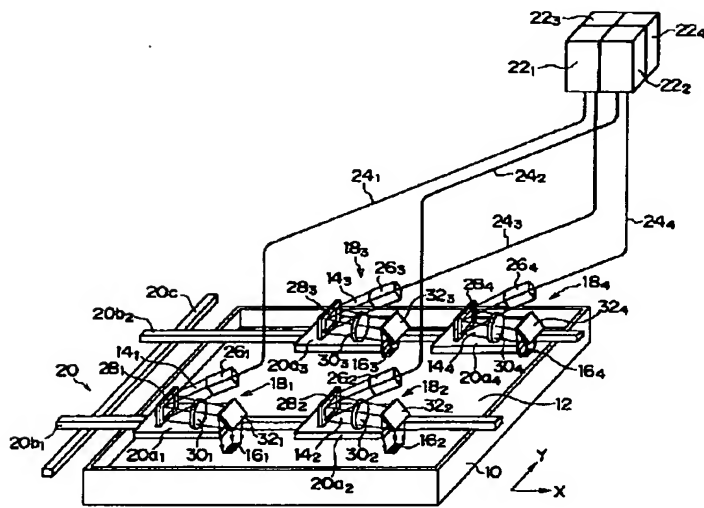
【図10】



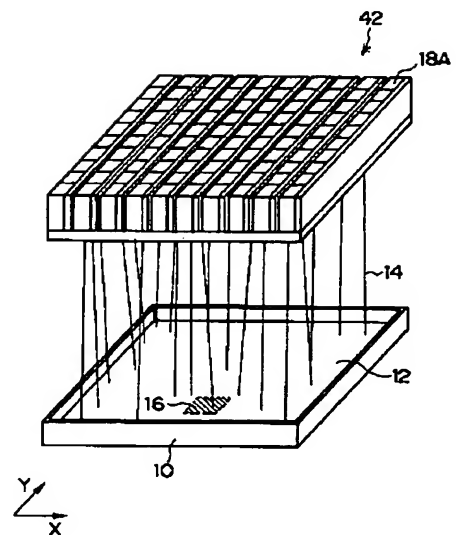
【図33】



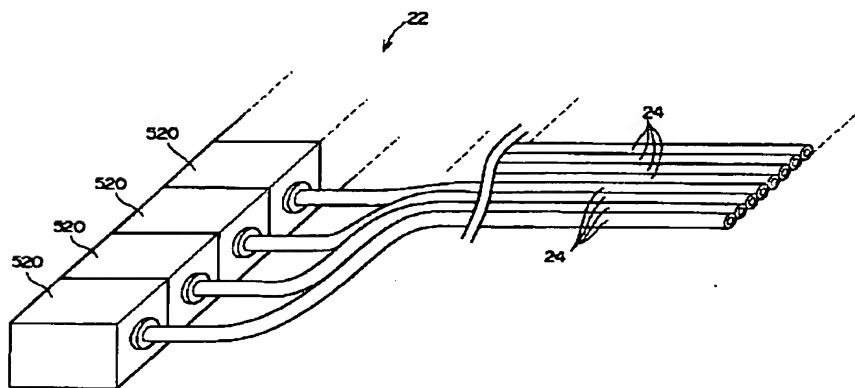
【図11】



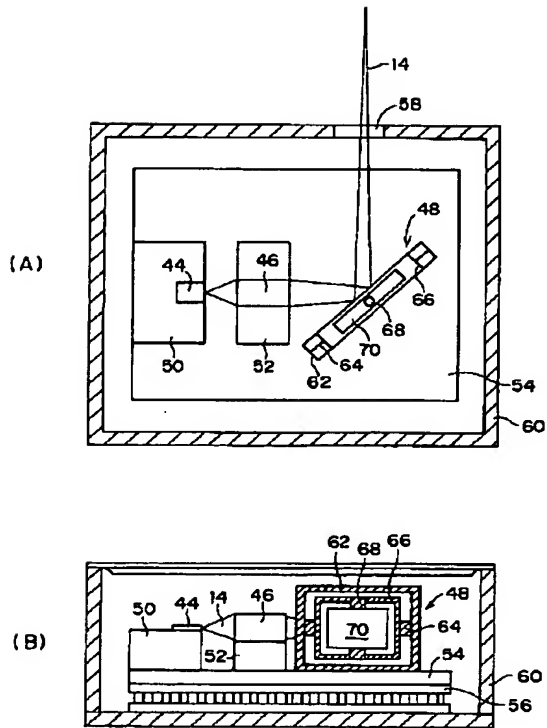
【図12】



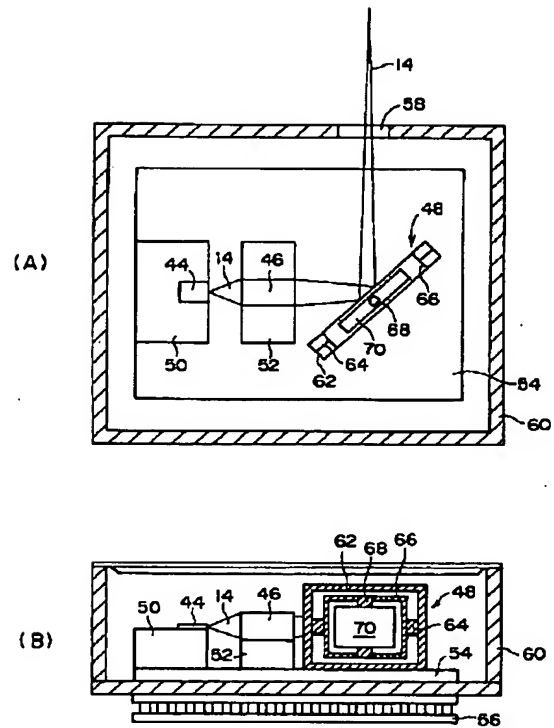
【図18】



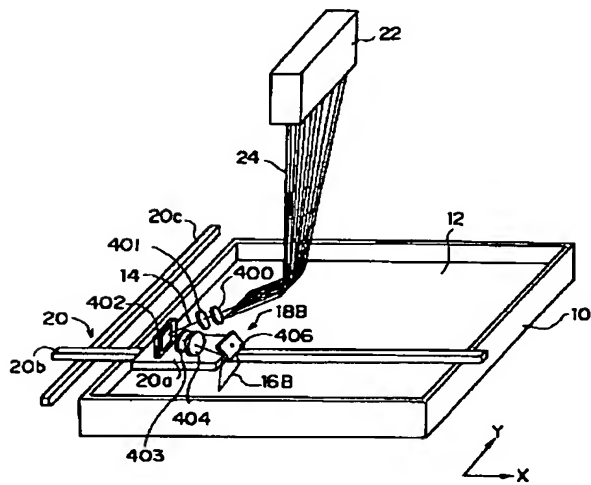
【図13】



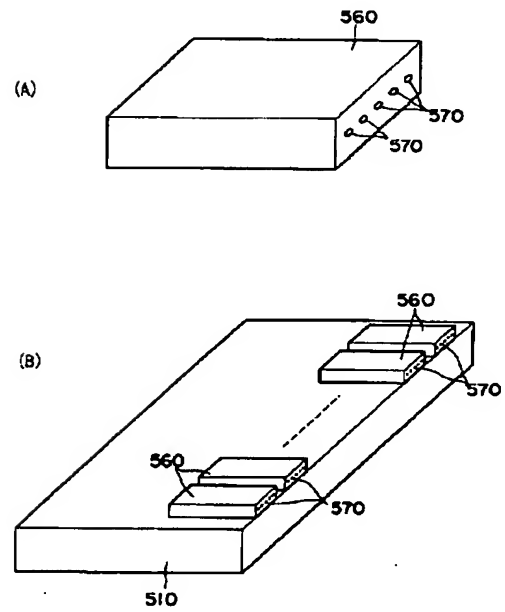
【図14】



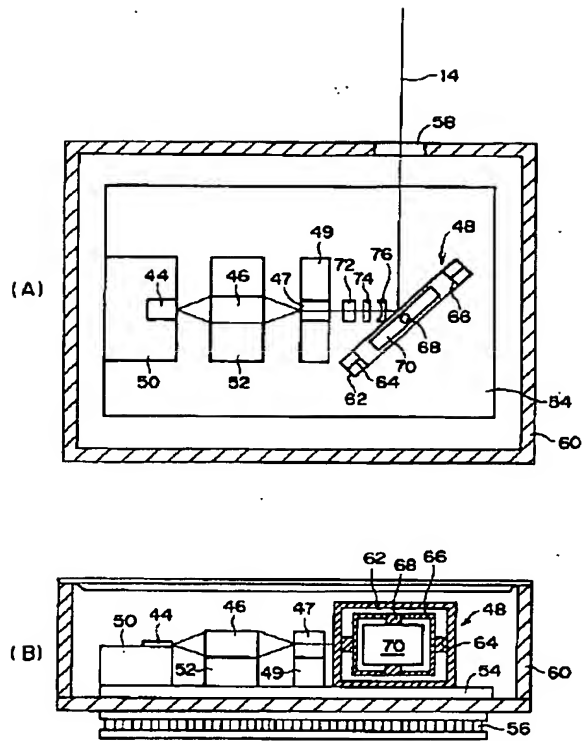
【図17】



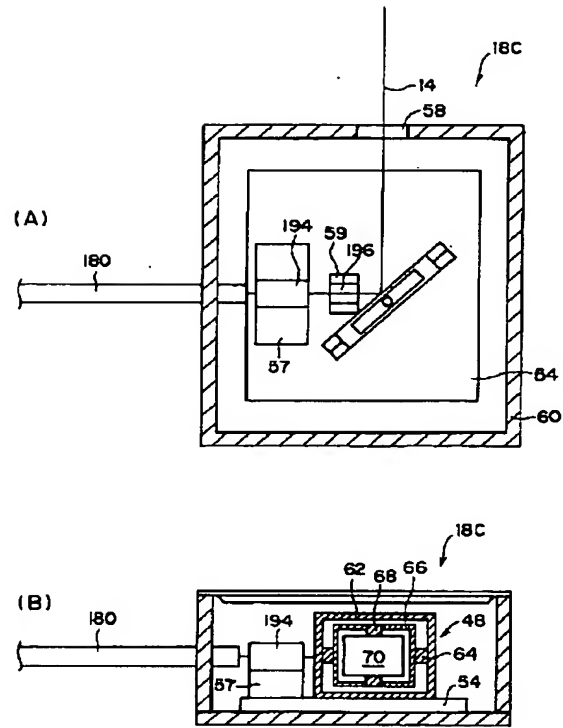
【図21】



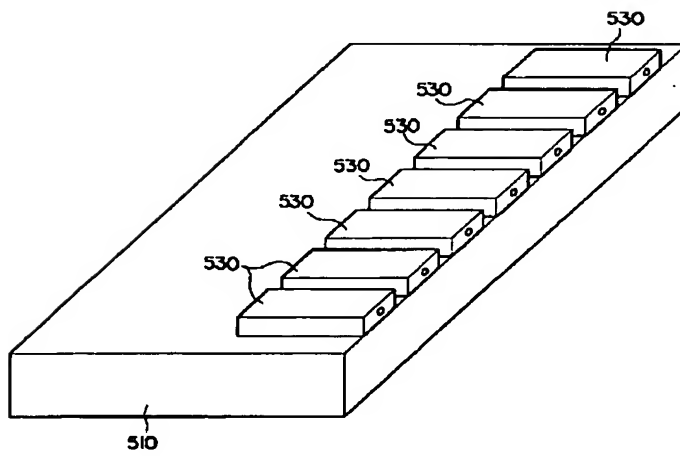
【図15】



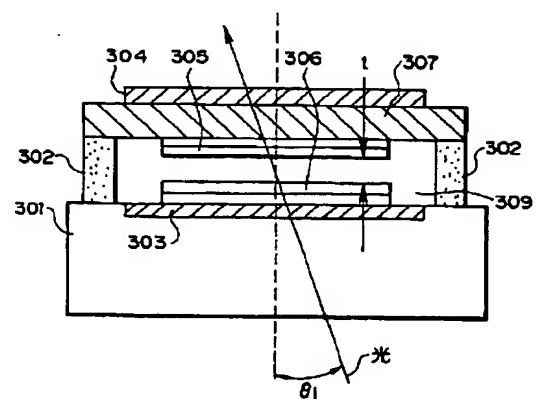
【図16】



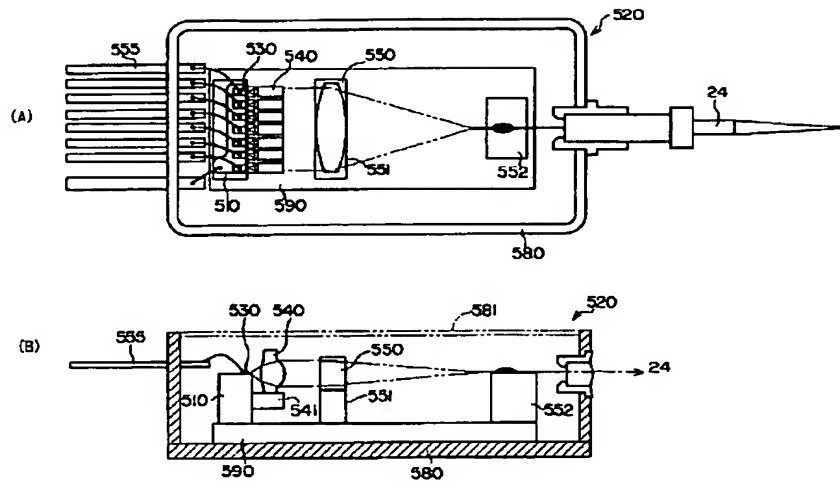
【図19】



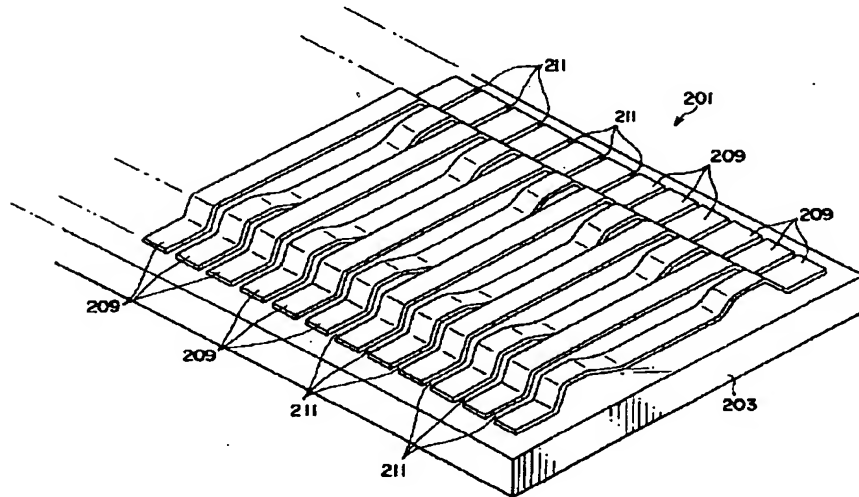
【図28】



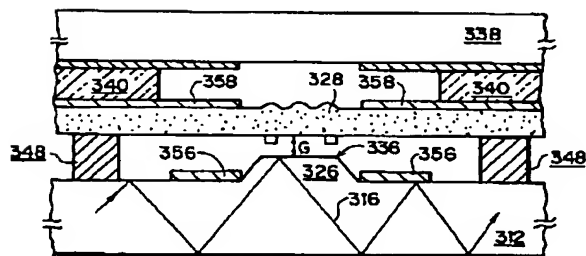
【図20】



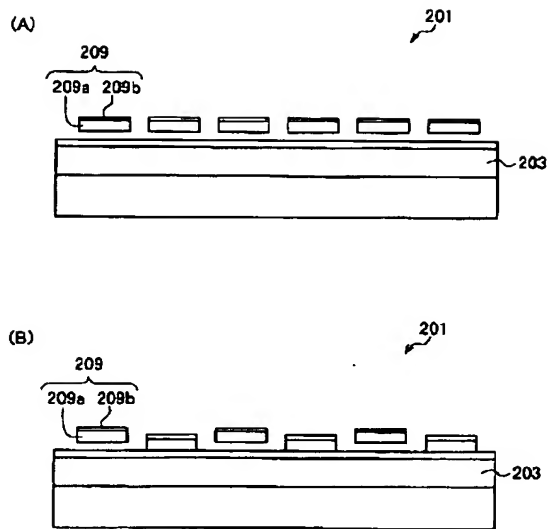
【図22】



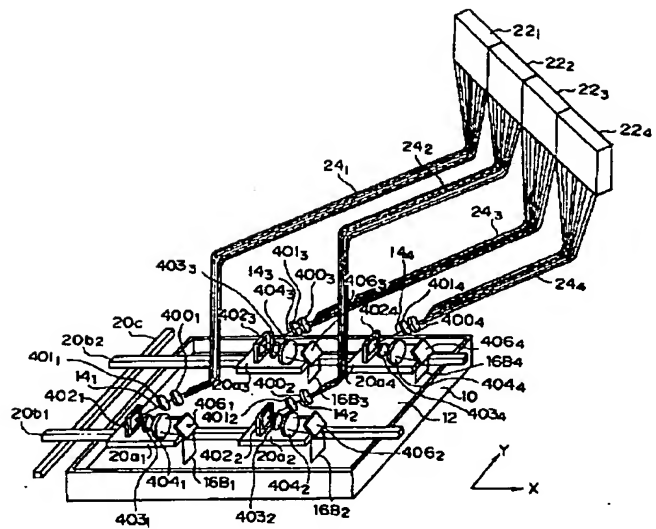
【図30】



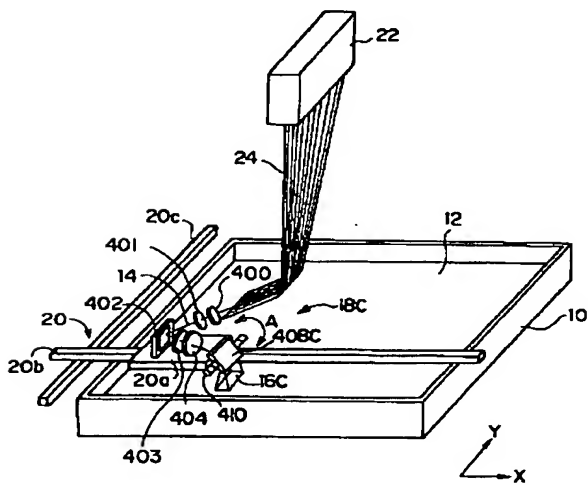
【图 23】



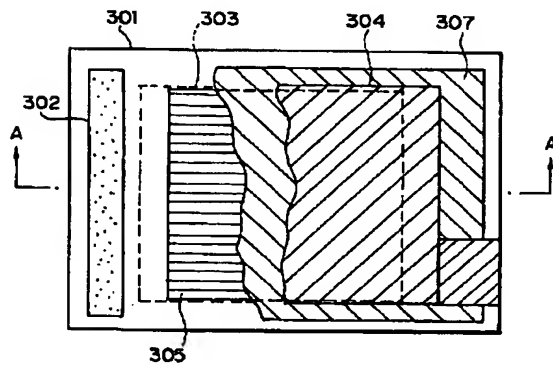
【圖 24】



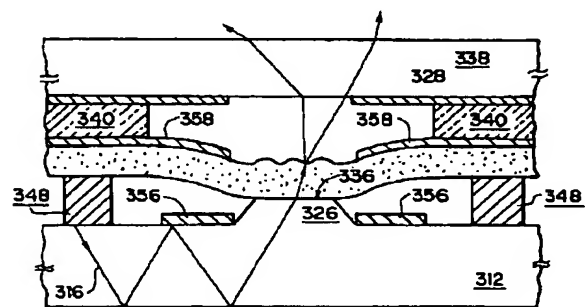
【圖 25】



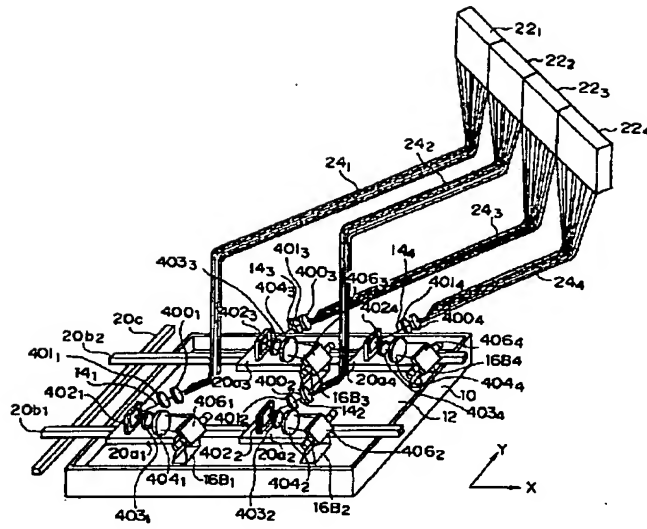
【図27】



【図 3 1】



【図26】



【図29】

(A)

(B)

